

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



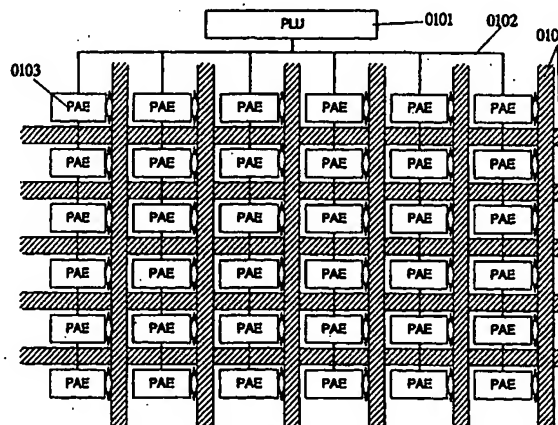
<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <b>G06F 15/78, H03K 19/177</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 98/26356</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 18. Juni 1998 (18.06.98)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE97/02949 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 9. Dezember 1997 (09.12.97)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 196 51 075.9      9. Dezember 1996 (09.12.96)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> PACT INFORMATIONSTECHNOLOGIE GMBH [DE/DE]; Thele-mannstrasse 15, D-81545 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> VORBACH, Martin [DE/DE]; (DE). MÜNCH, Robert [DE/DE]; Hagebutten-weg 36, D-76149 Karlsruhe (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	

**(54) Title:** UNIT FOR PROCESSING NUMERIC AND LOGICAL OPERATIONS, FOR USE IN PROCESSORS (CPUS) AND IN MULTICOMPUTER SYSTEMS

**(54) Bezeichnung:** EINHEIT ZUR VERARBEITUNG VON NUMERISCHEN UND LOGISCHEN OPERATIONEN, ZUM EINSATZ IN PROZESSOREN (CPUs), MEHRRECHNERSYSTEMEN

**(57) Abstract**

The invention relates to a unit which is controlled by a logical load unit (PLU), and which can be configured or reconfigured during running time, according to the following configuration: the invention provides for a programmable arithmetic logic unit (EALU), whose function and network connection are programmed in registers in which a plurality of data can be processed without reprogramming of the processing elements (PAE). To control the arithmetic logic unit (EALU), the invention provides for a state machine (SM-UNIT); it further provides registers for each operand (O-REG) and the result (R-REG), which are designed in part to act as shift registers. Feedback of the data of the results register takes place via a multiplexer (R20-MUX) to one of the inputs of the EALU. A bus multiplexing unit (BM-UNIT) makes it possible for the data to be taken from a bus system or for the result to be fed into a bus system, whereby the bus unit can send data to several receivers and synchronisation, even of several receivers, takes place automatically. The registers prevent the data processing system in the EALU to have access to the bus, so that each PAE can be considered an independent unit in that the configuration or reconfiguration of a PAE does not disturb the data originators and receivers or the independent PAEs.



### (57) Zusammenfassung

In Verbindung mit einer konfigurierbaren und zur Laufzeit umkonfigurierbaren Einheit gesteuert von einer Ladelogik (PLU), wird folgende Konfiguration vorgeschlagen: Es ist eine programmierbare Recheneinheit (EALU) vorgesehen, deren Funktion und Vernetzung in Registern programmiert wird und in denen eine Vielzahl von Daten, ohne Umprogrammierung der PAE, verarbeitet werden kann. Zur Steuerung der Recheneinheit (EALU) ist eine Zustandsmaschine (SM-UNIT) vorgesehen; ferner sind für jeden Operanden (O-REG) und das Ergebnis (R-REG) Register vorgesehen, die teilweise als Schieberegister ausgeführt werden können. Die Rückkopplung der Daten des Ergebnisregisters erfolgt über einen Multiplexer (R20-MUX) auf einen Eingang der EALU. Eine Buseinheit (BM-UNIT) ermöglicht den Abgriff der Daten von einem Bussystem bzw. das Einspeisen des Ergebnisses auf ein Bussystem, wobei die Buseinheit Daten an mehrere Empfänger versenden kann und die Synchronisierung auch mehrerer Empfänger automatisch erfolgt. Der Buszugriff von der Datenverarbeitung in der EALU ist über die Register entkoppelt, womit jede PAE als unabhängige Einheit betrachtet werden kann, so dass die Konfiguration und Umkonfiguration einer PAE keinen störenden Einfluss auf die Datensender und Empfänger, sowie die unabhängigen PAEs hat.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidtschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

EINHEIT ZUR VERARBEITUNG VON NUMERISCHEN UND LOGISCHEN OPERATIONEN, ZUM EINSATZ IN PROZESOREN (CPUS), MEHRRECHNERSYSTEMEN.

## 1. Hintergrund der Erfindung

### 1.1 Stand der Technik

In der Offenlegungsschrift DE 44 16 881 A1 ist ein Verfahren zur Verarbeitung von Daten beschrieben. Dabei werden in ihrer Funktion und Vernetzung weitgehend frei konfigurierbare, homogen angeordnete Zellen verwendet.

Unabhängig von der erwähnten Offenlegungsschrift werden zunehmend FPGA-Bausteine (frei programmierbare Logikbausteine) verwendet, um Rechenwerke und Datenverarbeitungseinrichtungen aus einer Vielzahl einzelner Logikzellen aufzubauen.

Ein weiteres bekanntes Verfahren ist der Aufbau von Datenverarbeitungseinrichtungen aus festen, programmgesteuerten Rechenwerken mit weitgehend fester Vernetzung, sogenannten systolischen Prozessoren.

### 1.2 Probleme

#### 1.2.1 Bausteine nach DE 44 16 881 A1

Bausteine nach dem in DE 44 16 881 A1 beschriebenen Verfahren (im folgenden VPU's genannt) sind aufgrund der hohen Zahl kleiner Logikzellen sehr aufwendig zu konfigurieren. Zur Steuerung einer Logikzelle sind mehrere Steuer-Bit in einem statischen Speicher (SRAM) anzugeben. Für jede Logikzelle existiert eine SRAM-Adresse. Die Zahl der zu konfigurierenden SRAM-Zellen ist sehr hoch, was zu einem erheblichen Platzbedarf und Zeitaufwand für

die Konfiguration und Umkonfiguration eines solchen Bausteines führt. Der hohe Platzbedarf ist besonders unangenehm, da die Verarbeitungsleistung einer VPU mit steigender Zahl der Zellen zunimmt. Jedoch ist die verwendbare Fläche eines Bausteines durch die Chipfertigungstechnologien begrenzt. Der Preis eines Chips steigt etwa quadratisch zur Chipfläche. Aufgrund der mehrfach abgebildeten Next-Neighbour Vernetzungsstruktur ist ein Broadcast, also das Senden von Daten an mehrere Empfänger gleichzeitig, unmöglich. Sollten VPUs im Betrieb umkonfiguriert werden, ist es zwingend erforderlich kurze Umkonfigurationszeiten zu erreichen. Dagegen steht jedoch die große Anzahl an Konfigurationsdaten die benötigt werden, um den Chip umzukonfigurieren. Es existiert keine Möglichkeit Zellen von der Versorgungsspannung zu trennen oder langsamer zu takten, um die Verlustleistung zu minimieren.

#### 1.2.2 FPGAs

Für den beschriebenen Einsatzbereich interessante FPGAs bestehen zumeist aus Multiplexer oder Look-Up-Table (LUT) Strukturen. Zur Implementierung werden SRAM-Zellen eingesetzt. Aufgrund der Vielzahl an kleinen SRAM-Zellen sind sie sehr aufwendig zu konfigurieren. Es sind große Datenmengen erforderlich, die einen entsprechend großen Zeitaufwand zum Konfigurieren und Umkonfigurieren erfordern. SRAM-Zellen benötigen sehr viel Platz. Jedoch ist die verwendbare Fläche eines Bausteines durch die Chipfertigungstechnologien begrenzt. Der Preis steigt auch hier etwa quadratisch zur Chipfläche. SRAM basierende Technologie ist durch die Zugriffszeit auf den SRAM langsamer als direkt integrierte Logik. Obwohl viele FPGAs auf Busstrukturen aufbauen, sind keinerlei Broadcast-Möglichkeiten zum schnellen und effektiven Senden von Daten an mehrere Empfänger gleichzeitig gegeben. Sollen FPGAs im Betrieb umkonfiguriert werden, ist es zwingend erforderlich kurze Konfigurationszeiten zu erreichen. Dagegen steht jedoch die große Anzahl an Konfigurationsdaten die benötigt werden. FPGAs

bieten keinerlei Unterstützung für eine sinnvolle Umkonfigurierung im Betrieb. Der Programmierer hat dafür zu sorgen, daß der Vorgang ordentlich ohne störende Einflüsse auf Daten und umgebende Logik abläuft. Eine intelligente Logik zum Minimieren der Verlustleistung ist nicht vorhanden. Es bestehen keine speziellen Funktionseinheiten, die eine Rückmeldung der internen Betriebszustände an die das FPGA steuernde Logik ermöglichen.

### 1.2.3 Systolische Prozessoren

Bei systolischen Prozessoren entfällt die Umkonfigurierung komplett, jedoch sind diese Prozessoren unflexibel, da sie einen starren internen Aufbau besitzen. Befehle werden in jedem Zyklus neu dekodiert. Wie bereits in der beiden vorherigen Abschnitten beschrieben fehlen Funktionen, die ein Broadcasting oder die effiziente Minimierung der Verlustleistung beeinhalteten.

### 1.3 Verbesserung durch die Erfindung, Aufgabe

Die Erfindung umfaßt ein kaskadierbares Rechenwerk, das flexibel in seiner Funktion und Vernetzung konfigurierbar ist. Es benötigt während der Ausführung des Algorithmus keine Befehlsdekodierung. Es ist im Betrieb umkonfigurierbar, ohne Einfluß auf die umgebenden Rechenwerke, Verarbeitungsmodule und Datenströme zu haben. Die Menge der Konfigurationsdaten ist sehr klein, was sich günstig auf Platzbedarf und Konfigurationsgeschwindigkeit auswirkt. Um große Datenmengen schnell und effizient zu verteilen wird Broadcasting über die internen Bussysteme unterstützt. Das Rechenwerk ist mit einer Stromsparfunktion ausgestattet, wodurch die Stromaufnahme komplett ausgeschaltet wird, ebenso existiert ein Taktteiler, der es ermöglicht das Rechenwerk mit einem geringeren Takt zu betreiben. Für Rückmeldungen der internen Zustände an die externen Steuerungen stehen besondere Mechanismen zur Verfügung.

## 2. Beschreibung der Erfindung

### 2.1 Übersicht über die Erfindung, Abstrakt

Die Erfindung beschreibt den Aufbau einer Zelle im Sinne von DE 44 16 881 A1 oder bekannter FPGA Zellen. In diese Zelle integriert ist eine um Sonderfunktionen erweiterte Arithmetisch-Logische-Einheit (EALU), die die Datenverarbeitung durchführt. Die EALU wird über ein Funktionsregisterregister konfiguriert, dadurch sinkt die für die Konfiguration erforderliche Datenmenge erheblich. Die Zelle ist über ein Bussystem frei kaskadierbar, dabei ist die EALU vom Bussystem über Ein- und Ausgaberegister entkoppelt. Die Ausgaberegister sind auf einen Eingang der EALU zurückgeführt um serielle Operationen zu ermöglichen. Die Aufschaltung auf den Bus übernimmt eine Bussteuereinheit, die den Bus entsprechend dem Busregister vernetzt. Dabei ist die Einheit so konzipiert, daß das Verteilen von Daten an mehrere Empfänger (Broadcasting) möglich ist. Eine Synchronisationsschaltung steuert den Datenaustausch zwischen mehreren Zellen über das Bussystem. Die EALU, die Synchronisationsschaltung, die Bussteuereinheit und die Register sind so gestaltet, daß eine Zelle unabhängig von ihren Umgebungszellen im Betrieb umkonfiguriert werden kann. Über das Funktionsregister kann ein Stromsparmodes konfiguriert werden, der die Zelle abschaltet, ebenfalls können Taktteiler eingestellt werden, die die Arbeitsfrequenz verringern.

### 2.2 Detailbeschreibung der Erfindung

Die Erfindung beschreibt den Aufbau einer Zelle (PAE=Processing Array Element) im Sinne von DE 44 16 881 A1 oder bekannter FPGA Zellen, dabei sind die PAEs zu einem Array (Processing Array = PA) kaskadierbar. Eine PAE ist aus einer Vielzahl von Funktionseinheiten aufgebaut:

### 2.3 EALU

Das Rechenwerk besteht aus einer fest in Logik implementierten erweiterten Arithmetisch-Logischen-Einheit (EALU). Eine EALU ist eine gewöhnliche Arithmetisch-Logische-Einheit nach dem Stand der Technik (ALU), die durch spezielle Funktionen, wie Zähler erweitert ist. Diese EALU ist in der Lage eine Vielzahl von arithmetischen und logischen Operationen durchzuführen, ohne hier genau spezifiziert werden zu müssen, da auf ALUs die dem Stand der Technik entsprechen zurückgegriffen werden kann. Die EALU hat direkten Zugriff auf ihre eigenen Ergebnisse, diese werden wir nachfolgend beschrieben als Operand zurückgeführt. Dadurch sind Zähler oder serielle Operationen, wie die serielle Multiplikation, Division oder Reihenentwicklungen, möglich. Die EALU liefert neben ihrem Ergebnis die Signale CarryOut-AlessB und AequalB-0detect. CarryOut-AlessB gibt entweder bei arithmetischen Operationen das Carry an, oder bei Vergleichen mittels einer Subtraktion zweier Werte gibt der Übertrag, also CarryOut-AlessB, daß  $A < B$ , bzw.  $B < A$ , abhängig vom negierten Operanden an. Das Signal ist das übliche Carry generiert durch einen Volladdierer. AequalB-0detect gibt an, daß das Ergebnis im Ergebnisregister R-REGsft gleich 0 ist. Das Signal wird über ein NOR aus dem Ergebnis generiert. Die Signale werden zur einfachen Auswertung von Zuständen verwendet und können an die PLU zurückgeliefert werden. Weitere Statussignale sind je nach Anwendung implementierbar.

Die Funktion der EALU wird in einem Funktionsregister(F-PLUREG) konfiguriert.

### 2.3.1 O-REG

Die Eingangsoperanden der EALU werden in zwei unabhängige Operandenregister (O-REG) gespeichert. Dadurch stehen sie unabhängig des Zustandes der Einheit, die die Daten liefert (Datensender) zur Verfügung. Dies ist notwendig um eine Entkopplung vom Bus und eine freie Umkonfigurierbarkeit des PAs zu ermöglichen. Eines oder beide O-REG besitzen eine Schiebefunktion, die von der EALU für ggf. jedes O-REG einzeln

angesteuert wird. Die Schiebefunktion ermöglicht das Durchführen von seriellen Operationen wie seriell Multiplizieren oder Dividieren im EALU. O-REG mit Schiebefunktion werden als O-REGsft bezeichnet.

### 2.3.2 R-REGsft

Das Ergebnis der EALU wird in einem Ergebnisregister gespeichert (R-REGsft). Dadurch wird die zeitliche Unabhängigkeit von der oder den das Ergebnis empfangenden Einheiten (Datenempfänger) erreicht. Das R-REGsft besitzt eine Schiebefunktion, die von der EALU angesteuert wird, wodurch serielle Operationen ermöglicht werden.

### 2.3.3 R2O-MUX

Die Ergebnisdaten, die in R-REGsft stehen, werden über einen Multiplexer (R2O-MUX) zwischen einem der O-REG und der EALU als Operand eingeschleift, um eine Rückkopplung des Ergebnisses für serielle Operationen, Zähler und ähnliche Funktionen zu gewährleisten. Der Multiplexer wird durch das F-PLUREG eingestellt.

### 2.2.4 Taktzyklen

Es ist sinnvoll, jedoch nicht zwingend erforderlich, die O-REG(sft) bei einer Taktflanke anzusteuern und die R-REGsft bei der darauffolgend negierten Taktflanke. Dadurch hat die EALU einen Halbtakt zur Ausführung ihrer Funktion zur Verfügung, der zweite Halbtakt steht für Signallaufzeiten und Multiplexer zur Verfügung. Dadurch wird es möglich in jedem Takt eine komplette Operation auszuführen.

### 2.2.5 StateMachine, SM-Unit

Zur Ablaufsteuerung in der EALU existiert eine SM-UNIT. Diese steuert die O-REG und R-REGsft und deren Schiebefunktion, sowie R2O-MUX. Dadurch wird erreicht, daß serielle Operationen, Schiebe- und Zählfunktionen einfach von der EALU durchgeführt



werden können. Die StateMachine ist dabei nach dem Stand der Technik einfach zu implementieren.

### 2.2.6 Sync-UNIT

Zur Synchronisation einer PAE innerhalb eines Arrays (PA) aus PAEs ist eine Synchronisationseinheit (Sync-UNIT) vorhanden. Diese wertet eine Reihe von Eingangssignalen, die ein Handshake-Protokoll ausführen, aus.

**rACK(h/l):** Der Datenempfänger quittiert die empfangenen Daten. Dabei ist rACKh die Quittierung des hohen Ergebnisbytes (Bit 8 bis 15) und rACKl die des niederen Ergebnisbytes (Bit 0 bis 7). Beide werden verUNDet (rACKh UND rACKl) und ergeben das Signal rACK. rACK ist nicht wahr, während einer oder beide Datenempfänger mit der Verarbeitung ihrer Daten beschäftigt sind und wird wahr, wenn die Verarbeitung der Daten beider Datenempfänger abgeschlossen ist und das Ergebnis im R-REGsft des jeweiligen Datenempfängers gespeichert ist. Die Signale rACK(h/l) werden im weiteren oftmals in ihrer verUNDeten Form als rACK (=rACKh & rACKl) betrachtet.

**oRDY(1/2):** Der Datensender signalisiert seine Bereitschaft neue Daten zu senden. oRDY ist nicht wahr, während der Datensender mit der Verarbeitung seiner Daten beschäftigt ist und wird wahr, wenn das Ergebnis des Datensenders, das der Operand der PAE ist, zur Verfügung steht. Dabei ist oRDY1 das Freigabesignal des Datensenders des ersten Operanden und oRDY2 das des Zweiten. Beide werden verUNDet (oRDY1 UND oRDY2) und ergeben das Signal oRDY. oRDY ist nur wahr, wenn beide Datensender bereit sind Daten zu versenden. Die Signale oRDY(1/2) werden im weiteren oftmals in ihrer verUNDeten Form als oRDY (=oRDY1 & oRDY2) betrachtet.

Aus den Eingangssignalen und dem Zustand der Sync-UNIT, der zusammen mit der Ablaufsteuerung der EALU den Gesamtzustand der PAE darstellt, werden Ausgangssignale generiert, die von den Sync-UNITs der Datensender und -empfänger ihrerseits als Eingangssignale betrachtet werden. Zur Ablaufsteuerung der EALU werden deren Statusinformationen und das Register F-PLUREG verwendet.

- rRDY: Zeigt an, daß die PAE ihre Datenverarbeitung beendet hat und ein Ergebnis im R-REGsft zur Verfügung steht. rRDY wird als rRDYh und rRDYl an beide Datenempfänger übertragen. Dabei handelt es sich jedoch um dasselbe Signal!
- oACK: Zeigt an, daß die PAE ihre Operanden verarbeitet hat und neue Daten in den O-REG(sft) aufnehmen kann. oACK wird als oACK1 und oACK2 an beide Datensender übertragen. Dabei handelt es sich jedoch um dasselbe Signal!

Die RDY-Signale behalten ihren Pegel bis zum Eingang der Quittierung durch ACK bei. Dies ist erforderlich wenn der Datenempfänger während der Bereitstellung der Daten umkonfiguriert wird. Steht RDY bis zur Quittierung durch ACK an, so erkennt der Datenempfänger nach der Umkonfigurierung, daß Daten bereitstehen und nimmt sie an.

Die Verknüpfung der Signale über mehrere PAEs stellt sich wie folgt dar:

Datensender		PAE		Datenempfänger
rRDY	→	oRDY rRDY	→	oRDY
rACK	←	oACK rACK	←	oACK

Das bedeutet z.B. das Ausgangssignal rRDY des Datensenders stellt das Eingangssignal oRDY1 oder oRDY2 der PAE dar. Das Ausgangssignal rRDY der PAE stellt das Eingangssignal oRDY des Datenempfängers dar.

Die Sync-UNIT besitzt folgende Ablaufarten:

Modus	Beschreibung	Bemerkung
Warten OP	Die PAE wartet auf Operanden	Nur wenn keine mehrzyklische Operation abläuft
Zyklus 1	Eine einzyklische Operation wird durchgeführt	Operanden werden quittiert
Zyklus n	Ein Zyklus einer mehrzyklischen Operation wird durchgeführt	
Zyklus Z	Der letzte Zyklus einer mehrzyklischen Operation wird durchgeführt	Operanden werden quittiert
Warten ERG	Die PAE wartet auf die Quittierung des Ergebnisses	Nur wenn vorhergehendes Ergebnis existiert
Stop	Ausführung nach Beendigung des laufenden Zyklusses anhalten, dann ReConfig quittieren, wenn auch Ergebnis quittiert wurde	

Die Sync-UNIT stellt einen besonderen Modus zur Verfügung, der das Taktsignal nur freigibt, wenn Operanden zur Verfügung

stehen. Dieser Modus ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Datensender die Daten nicht in jedem Prozessortakt liefern, sondern nur jeden n. Takt. Dabei entspricht der Takt einer Periode des Normaltaktes und wird über rACK oder oRDY(1/2) freigegeben. Die Freigabe wird als OneShot bezeichnet. Der Modus wird als OneShot-MODE bezeichnet. Dabei wird der Takt über ein UND-Gatter mit einem der Freigabesignale verUNDet. Der Modus und die Signalauswahl findet über das F-PLUREG statt. Das Freigabesignal, generiert über rACK oder oRDY(1/2), kann von der SM-UNIT verlängert werden. Dies ist erforderlich, damit Operationen, die mehr als einen Takt benötigen im OneShot-MODE durchgeführt werden können. Um dies zu ermöglichen, wird eine entsprechende Signalleitung der SM-UNIT mit dem Freigabesignal verODERT.

Wird der Registereintrag STOP im F-PLUREG gesetzt, so führt die Sync-UNIT die laufende Funktion zu Ende. Danach werden keine weiteren Operanden mehr angenommen und quittiert. Sobald rACK anzeigt, daß das Ergebnis vom Datenempfänger angenommen wurde, wird die Umkonfigurierungsbereitschaft der PLU durch das Signal ReConfig angezeigt. Das Signal wird generiert, indem rACK das Stop des F-PLUREG in ein D-FlipFlop speichert. ReConfig kann durch einen lesenden Zugriff der PLU auf F-PLUREG an der Bitposition von Stop abgefragt werden.

Ebenfalls kann die Sync-UNIT dazu verwendet werden Fehlerzustände oder weitere Statussignale zu generieren und auszuwerten.

#### 2.2.7 BM-UNIT

Zum Aufschalten der Operanden und des Ergebnisses auf die externen Bussysteme existiert eine Busmultiplexeinheit (BM-UNIT). Diese besteht aus 2 Multiplexern und 2 Tore, wobei die 2 Multiplexer für die Operanden (O-MUX) und 2 Tore für das

Ergebnis (R-GATE) existieren, dabei wird jeweils ein Schalter für das höherwertige und niederwertige Ergebnis verwendet. Die Multiplexer und Schalter werden über das Multiplexerregister ({M-PLUREG}) gesteuert. Die Sync-UNIT-Signale werden über die Schalter auf den Bus gesteuert. Dabei ist die Zusammengehörigkeit der Multiplexer/Schalter und Signale wie folgt:

O-MUX1: oRDY1, oACK

O-MUX2: oRDY2, oACK

RH-GATE: rRDY, rACKh

RL-GATE: rRDY, rACKl

Das R-GATE kann über das M-PLUREG in einen Zustand gebracht werden, in dem es kein Bussystem treibt.

Die Tabelle gibt eine Beschreibung der Signale, sowie deren jeweiliger Interface-Struktur:

Signal	oRDY	OACK	rRDY	rACK	D7..0
zeigt an	Operanden bereit	Operanden Quittiert	Ergebnis bereit	Ergebnis quittiert	Daten
Typ	Eingang	Open- Kollektor	Treiber	Eingang	Bi- direk- tional

Es ist möglich mehrere Datenempfänger von einem Datensender aus anzusprechen (Broadcasting). Hierzu schalten sich mehrere Datenempfänger auf denselben Bus. Um eine Quittierung der Daten zu gewährleisten ist die Treiberstufe der Quittierungsleitung oACK als Offener-Kollektor-Treiber gestaltet. Dabei arbeitet der Bus als wired-AND, d.h. erst wenn alle Datenempfänger quittieren entsteht der für die Quittierung erforderliche H-Pegel. Dies wird dadurch erreicht, daß jeder Datenempfänger, der NICHT quittiert den Bus über einen Open-Kollektor-Transistor auf einen L-Pegel zieht. Datenempfänger die quittieren, steuern den Open-

Kollektor-Transistor nicht an und belasten somit den Bus nicht. Wenn alle Datenempfänger quittieren wird der Bus nicht mehr belastet und nimmt über einen Pull-Up-Widerstand H-Pegel an.

#### 2.2.8 StateBack-UNIT

Die PAE ist in der Lage Rückmeldungen über ihren Betriebszustand an ihre Ladelogik, im folgenden PLU genannt, zu liefern (vgl. DE 44 16 881 A1). Die Ladelogik konfiguriert das PA und benötigt, um sinnvolle Umkonfigurationen vornehmen zu können, Informationen über den Status der einzelnen PAEs. Dies geschieht über die StateBack-UNIT. Diese überträgt je nach Eintrag im F-PLUREG entweder die unteren 3-Bit des Ergebnisses aus dem R-REGsft --- um berechnete Werte an die PLU zu liefern --- oder die Signale CarryOut-AlessB und AequalB-0detect auf einen 3-Bit Statusbus. Um das Aufschalten der Signale von mehreren PAEs aus zu ermöglichen wird ein einfaches wired-OR Verfahren über Open-Kollektor-Treibern verwendet. Damit die Umkonfigurierung der PAE erst beginnt, wenn der Empfänger die Daten quittiert hat, kann zwischen den Signalen und den Open-Kollektor-Treibern eine Latch-Stufe eingeschleift werden, die die Signale erst nach Eingang des rACK freigibt. Der Statusbus wird von der PLU überwacht. Diese reagiert in ihrem Programmfluß und ihrer Umkonfiguration auf den vom Bus gelieferten Status.

#### 2.2.9 Power-UNIT

Die PAE besitzt einen Stromsparmodus ({Sleep-MODE}), der ebenso wie die Funktion der EALU im F-PLUREG eingestellt wird. Hierfür existiert ein Bit, das, wenn es gesetzt ist, den Sleep-MODE einschaltet. Hierzu kann entweder die Taktleitung der PAE auf konstant logisch 0 oder 1 gesetzt werden, oder über einen Transistor die Spannung der PAE abgeschaltet werden. Das F-PLUREG steht innerhalb der PAE immer unter Spannung und ist

nicht abschaltbar. Für die jeweils ausgeführte Funktion unbenutzte Bereiche (Gatter) der PAE werden durch Auswertung des F-PLUREG abgeschaltet. Dies geschieht über einen Transistor, der die Bereiche von der Spannungsversorgung trennt. Um unerwünschte Störeinflüsse zu verhindern sind die Ausgänge der Bereiche über Pull-Up/Pull-Down-Widerstände definiert.

Zusätzlich kann innerhalb des OneShot-MODE, der von der Sync-UNIT gesteuert wird, der PowerSave-MODE verwendet werden. Dabei werden sämtliche Teile der PAE, mit Ausnahme von F-, M-PLUREG und Sync-UNIT von der Versorgungsspannung getrennt. Erst wenn die Sync-UNIT einen OneShot feststellt, werden alle benötigten PAE-Teile über die Power-UNIT zugeschaltet. Die Sync-UNIT verzögert das Taktsignal so lange, bis alle neu zugeschalteten Teile arbeitsfähig sind.

#### 2.2.10 Register

Die Register F-PLUREG und M-PLUREG sind mit dem PLU-Bus verbunden. Die Adresse der von der PLU gesendeten Datenpakete werden in einem Vergleicher dekodiert. Ist die Adresse der PAE erkannt, so werden die Daten in die Register gespeichert. Der PLU-Bus ist wie folgt gestaltet:

AX7..0: X-Adresse der X/Y-Matrix

AY7..0: Y-Adresse der X/Y-Matrix

RS: Register Select, logisch 0 wählt F-PLUREG, logisch 1 wählt M-PLUREG aus.

AEN: Adress Enable, der Bus enthält eine gültige Adresse. Die Adressen müssen dekodiert werden, solange AEN logisch 0 ist. AEN ist während des gesamten Buszugriffes, also auch während der Datenübertragung logisch 0.)

D23..00: Daten

DEN: Data Enable, der Bus enthält gültige Daten. Die Daten müssen bei steigender Flanke des Signals DEN in das Register übertragen werden}

OEN: Output Enable, die PLU liest gültige Daten aus den PLUREGs.)

### 2.2.11 Der Aufbau des F-PLUREG:

#### 1. Der Registeraufbau beim Schreibzugriff

F11	F10..9	F8	F8	F5	F4..0
Stop	StateBack	Sleep	OneShot	PowerSave	EALU function

Die Funktionen der einzelnen Bits:

Funktion	Zustand	Wirkung
Stop	0	Normale Funktion
	1	Funktionen nach laufendem Zyklus anhalten, keine Quittierung der Operanden
StateBack	00	keine Rückmeldung, Bus offen
	01	D2..0 auf Bus
	10	CarryOut-AlessB, AequalB-0detect auf Bus
	11	Illegal
Sleep	0	keine Funktion, spannungslos
	1	normale Funktion, Spannung
OneShot	00	normale Funktion
	01	OneShot auf oRDY1
	10	OneShot auf oRDY2
	11	OneShot auf (rACKh & rACKl)
PowerSave	0	kein PowerSave
	1	Stromsparmodus in Verbindung mit OneShot



EALU function	00000	keine Operation (NOP)
	00001	
	...	Funktion gemäß Ausführung der EALU
	11111	

Der Reset-Zustand ist 0 in allen Bits.

## 2. Der Registeraufbau beim Lesezugriff

F11
ReConfig

Die Funktionen der einzelnen Bits:

Funktion	Zustand	Wirkung
ReConfig	0	Keine Umkonfigurierung möglich
	1	Umkonfigurierung möglich

Der Reset-Zustand ist 0 in allen Bits.

Der Aufbau des M-PLUREG:

M23..18	M17..12	M11..06	M05..00
Ergebnis höherwertig	Ergebnis niederwertig	Operand 1	Operand 0

Die Werte  $M(n+5) \dots n = 000000$ ,  $n \in \{0, 6, 12, 18\}$  bedeuten, daß die Multiplexer/Schalter offen sind und keinen Buskontakt besitzen. Es kann sinnvoll sein, das M-PLUREG über das Signal ReConfig zu sperren, d.h. sobald ReConfig aktiviert wird, schaltet sich die PAE von allen Bussystemen ab.

Der Reset-Zustand ist 0 in allen Bits.

### 3. Zusammenfassung

Durch die Reduzierung der Konfigurationsdaten auf das Register F-PLUREG kann die Funktion des PAE einfacher und schneller konfiguriert und umkonfiguriert werden als in bekannten Technologien, insbesondere der FPGA-Technologie. Die Vernetzung des Rechenwerkes wird im M-PLUREG angegeben, während in den herkömmlichen Technologien eine Vielzahl einzelner, nicht zusammenhängender Konfigurationsbits besetzt werden müssen. Durch die klare Struktur der Register wird eine (Um)Konfiguration vereinfacht.

Der Platzbedarf des PAE ist durch die direkte Ausgestaltung als Rechenwerk kleiner als in herkömmlichen Technologien, in denen Rechenwerke durch eine Vielzahl von Logikzellen implementiert wurden. Gleichzeitig sind die Durchlaufverzögerungen geringen und die erzielbaren Taktfrequenzen entsprechend höher.

Eine Broadcasting-Funktion ist durch die Ausgestaltung der BM-UNIT gewährleistet, die Quittierung erfolgt automatisch. Durch die ein- und ausgangsseitigen Register (O-REG, R-REG) ist ein zeitlich weitgehend unabhängiger Datentransfer gewährleistet. Die Konfiguration und Umkonfiguration wird durch die Entkopplung jeder PAE vom Gesamtsystem über die Register O-REG und R-REG erheblich vereinfacht, da die einzelnen PAEs weitgehend voneinander unabhängig sind. Die Rückmeldungen an die PLU, sowie das Zusammenspiel von STOP und ReConfig ermöglichen die effiziente Steuerung der (Um)Konfigurationen.

Es sind Stromsparfunktionen implementiert, die --- teilweise automatisch (OneShot-MODE) --- zu einer Reduzierung des Leistungsverbrauches führen.

Die PAE-Struktur kann zur Erhöhung der Effizienz von FPGAs in deren Architektur implementiert werden. Dadurch sind

arithmetische Operationen erheblich leistungsfähiger realisierbar.

#### 4. Kurzbeschreibung der Diagramme

- Figur 1 Anordnung mehrerer PAEs zu einem PA mit PLU. Ohne Verbindung zu Ein-/Ausgabesystemen oder Speicher.
- Figur 2 Aufbau einer PAE.
- Figur 3 Aufbau von F-PLUREG und M-PLUREG.
- Figur 4 Aufbau eines O-REG.
- Figur 5 Aufbau eines O-REGsft mit rechtsschiebe-Funktion.
- Figur 6 Aufbau eines R-REGsft mit rechts/links 1-2bit Barrel-Shifter.
- Figur 7 Aufbau des R2O-MUX, sowie Implementierung eines MUX in Transfer-Gate-Technik.
- Figur 8 Taktsynchronisation, Verzögerungen und synchron Signale
- Figur 9 Funktionsweise der Sync-UNIT. Beschreibung.
- Figur 10 Aufbau der Power-UNIT
- Figur 11 Aufbau der Sync-UNIT
- Figur 12 Aufbau der BM-UNIT
- Figur 13 Aufbau eines O-MUX, begrenzt auf 4 Bussysteme
- Figur 14 Aufbau eines R-GATE, begrenzt auf 4 Bussysteme
- Figur 15 Aufbau der StateBack-UNIT
- Figur 16 Funktionsprinzip des OneShot- und OneShot/PowerSave-MODE
- Figur 17 Implementierungsbeispiel einer PAE
- Figur 18 Aufbau einer PAE, wobei die Verbindung der einzelnen Funktionen über ein Bussystem erfolgt
- Figur 19 Funktionsweise der Config-State-Machine
- Figur 20 Funktionsweise der Loop-State-Machine
- Figur 21 Zyklische Verarbeitung der Konfigurationsregister Daten

##### 4.1 Detailbeschreibung der Diagramme

Figur 1 stellt einen vereinfachten Prozessor gemäß DE 44 16 881 A1 dar. Zudem ist die PLU (0101) und deren Bussystem (0102) angezeigt. Die PAEs (0103) sind als Array eingetragen, das chipinterne Bussystem (0104) ist schematisch dargestellt.

Figur 2 zeigt den schematisierten Aufbau einer PAE. Das chipinterne Bussystem (0201) wird an die BM-UNIT (0202) geführt, welche die durch M-REG (0203) ausgewählten Busse an das O-REGsft (0204) als Operand 1 und das O-REG (0205) als Operand 2 weiterschaltet. In den Datenpfad von Operand 2 wird über den R2O-MUX (0206) das im Ergebnisregister R-REGsft (0207) stehende Ergebnis wahlweise eingeschleift. Die Daten aus O-REGsft (0204) und R2O-MUX (0206) werden im ELAU (0208) verarbeitet. Über die StateBack-UNIT (0209) finden Rückmeldungen an die PLU statt. Der PLU-Bus (0210) hat Verbindung zu den Registern F-PLUREG (0211) und M-PLUREG (0212), sowie der StateBack-UNIT (0209). Über ihn wird die PAE konfiguriert und überwacht. Das F-PLUREG enthält alle funktionellen Konfigurationsdaten, das M-PLUREG enthält die Vernetzungsinformation der PAE. Die Sync-UNIT (0212) steuert das Zusammenspiel des Datenaustausches zwischen den Datensendern, den Datenempfängern und der Verarbeitungs-PAE. Die SM-UNIT (0213) steuert den gesamten internen Ablauf der PAE. Die Power-UNIT (0214) regelt die Stromversorgung und dient der Reduzierung des Stromverbrauches.

In Figur 3 wird die Funktionsweise der Register M-PLUREG und F-PLUREG verdeutlicht. Die Adressen AX und AY des PLU-Bus (0308) werden in einem Vergleicher (0301) mit der Adresse der PAE verglichen, sofern AEN (Adress Enable) einen gültigen Bustransfer anzeigt. Dabei besitzt jede PAE eine eindeutige Adresse, die sich aus ihrer Spalte und Zeile innerhalb einer PA zusammensetzt. Zeigt DEN (DataEnable) die Datenübertragung an, so wird über RS (RegisterSelect) entweder M-PLUREG(0302) oder F-PLUREG (0303) ausgewählt. Bei der steigenden Flanke von DEN werden die Daten im betreffenden Register gespeichert. Die

Register sind als D-FlipFlop (0304) implementiert. Zur Verdeutlichung des Ablaufes dient das Timingdiagramm 0305. Zum lesenden Zugriff auf das F-PLUREG wird lediglich über das Tor (0306) das Signal ReConfig von der Sync-UNIT an den PLU-Bus gegeben. Die Freigabe geschieht über das Ergebnis des Vergleichers (0301) UND dem Signal OEN.

Figur 4a zeigt das Blockdiagramm des O-REG. In Figur 4b ist der Aufbau des O-REG aus D-FlipFlops ersichtlich. Das Timingdiagramm ist in Figur 4c dargestellt. Der Takt wird von der SYNC-SM generiert.

Figur 5a zeigt das Blockdiagramm des O-REGsft. In Figur 5b ist der Aufbau des O-REGsft aus D-FlipFlops (0501) ersichtlich. Die UND-Gatter (0502) und das OR-Gatter (0503) bilden über den Inverter (0504) einen durch Mode gesteuerten Multiplexer (0506), der entweder die Eingangsdaten auf die D-FlipFlop (0501) schaltet, oder die Ausgangsdaten der D-FlipFlop um ein Bit verschoben an deren Eingang leitet. Das UND-Gatter (0505) ist nicht notwendig, da ein Eingang permanent auf logisch 0 liegt. Es dient nur der Anschaulichkeit. In Figur 5c ist das Timingdiagramm in Abhängigkeit von dem Signal Mode angegeben. Der Takt wird von der SYNC-SM generiert.

Figur 6a zeigt den Blockaufbau des R-REGsft vor dem Register (0601) liegt ein Multiplexer (0602), der entweder die Eingangsdaten auf das Register (0601) schaltet, oder die Ausgangsdaten des Registers (0601) verschoben an dessen Eingang leitet. Der von der SYNC-SM generierte Takt wird um einen Halbtakt verschoben an das Register geführt. In Figur 6b ist das Blockdiagramm auf Gatterebene dargestellt. Über einen Dekoder (0603) schalten Mode0-2 einen aus UND-Gattern mit nachgeschaltetem ODER-Gatter bestehenden Multiplexer (0606). Dabei sind die gestrichelt eingezeichneten Gatter (0605 und

weitere) nur der Verdeutlichung wegen eingezeichnet. Sie sind funktionslos, da ein Eingang ständig auf L liegt. Der Multiplexer schaltet im Zustand Mode0-2 = 010 das Eingangssignal auf die Register (0607). In den Zuständen Mode0-2 = 000 bis Mode0-2 = 001 werden die Ausgangswerte der Register (0607) nach links, in den Zuständen Mode0-2 = 011 bis Mode0-2 = 100 rechts, um ein bzw. zwei Bit verschoben, an die Eingänge der Register geführt. Die Scheibefunktion wird in Abhängigkeit vom Zustand Mode0-2 im Timingdiagramm Figur 6c verdeutlicht.

Figur 7a zeigt den Aufbau des Multiplexers R20-MUX, der in Abhängigkeit von Mode die Operanden oder das Ergebnis an die EALU weiterleitet. Dabei ist Figur 7a als herkömmlicher Multiplexer aufgebaut, während in Figur 7b die platz- und leistungssparende Variante durch die Verwendung von CMOS Transfer-Gates (0701) aufgezeigt wird. Alle in dieser Schrift beschriebenen beschriebenen Multiplexer können mittels Transfer-Gates aufgebaut werden.

Ein Tor kann äquivalent zum Multiplexer aus Transfer-Gates aufgebaut werden. Dabei ist jedoch die Richtung des Datenaustausches genau umgekehrt!

Figur 8 zeigt das Verhältnis des PAE-internen Taktes CLK zu den stattfindenden Aktivitäten. Bei der steigenden Flanke (0801) werden die Operanden in die O-REG gespeichert. Während des H-Pegels (0802) verarbeitet die PAE die Daten ( $\Delta$ PAE = Verarbeitungsphase). Das umfaßt den Datenverkehr zwischen den O-REG und dem R-REG. Bei der fallenden Flanke (0803) wird das Ergebnis im R-REG gespeichert. Der L-Pegel (0804) wird für die Verteilung der im Bussystem, eingeschlossen der BM-UNIT genutzt ( $\Delta$ Network = Busphase). Der zeitliche Ablauf der von der SYNC-SM

generierten Signale (oRDY und oACK, rRDY und rACK) ist in das Zeitdiagramm eingetragen.

Das Ablaufdiagramm der Sync-UNIT ist in Figur 9 dargestellt. Die Zustandsmaschine kennt zwei feste Zustände DATEN (0901) und ERGEBNIS (0902). DATEN wird auf die steigende Flanke synchronisiert, ERGEBNIS auf die Fallende. Dabei wird jeweils der Zustand der Eingangsparameter ausgewertet und je nach Ergebnis in den Zweig ja (0903/0904) oder nein (0905/0906) gesprungen. Sind in DATEN die Operanden nicht bereit, wird nein angesprungen. In den nächsten Schritten wird keine Operation ausgeführt, bis die Maschine nach DATEN zurückspringt und erneut ausgewertet. Stehen nun Operanden, angezeigt durch oRDY, bereit, werden die Operanden im O-REG (0907) gespeichert. Die Operanden werden verarbeitet (0908) und gleichzeitig wird ausgewertet

(0909), ob es sich bei mehrzyklischen Operationen (serielle Operationen, die mehr als einen Taktzyklus benötigen), um den letzte Zyklus handelt, oder ob eine einzyklische Operation abläuft. In diesen Fällen werden die Operanden durch oACK quittiert (0910). Mit der fallenden Flanke wird ERGEBNIS synchronisiert. Dabei wird überprüft ob das Flag „Ergebnis vorhanden“ gesetzt ist (0911). Dieses Flag wird immer gesetzt, wenn ein fertiges Ergebnis durch rRDY signalisiert wird (0912). In zwei Fällen wird in den JA-Zweig (0904) gesprungen:

1. Es ist kein vorhergehendes Ergebnis vorhanden (Flag „Ergebnis vorhanden“ unwahr).
2. Es ist ein vorhergehendes Ergebnis vorhanden (Flag „Ergebnis vorhanden“ wahr) und dieses ist mit rACK quittiert. In diesem Fall (und nur in diesem Fall(!)) setzt 0902 das Ergebnis zurück (0913).

Ansonsten wird in den NEIN-Zweig (0906) gesprungen und keine Operation ausgeführt, bis die Zustandsmaschine nach ERGEBNIS (0902) zurückkehrt. Im JA-Zweig (0904) wird das Ergebnis in das

Ausgangsregister R-REGsft gespeichert (0914). Danach wird ausgewertet ob es sich um den letzten Zyklus einer mehrzyklischen Operation handelt (0915) (vgl. 0909) oder ob eine einzyklische Operation abläuft, wenn ja, wird das Vorhandensein des Ergebnisses durch rRDY signalisiert (0916). Die Zustandsmaschine springt nach DATEN (0901) zurück. Die Erkennung ob es sich um den letzten Zyklus einer Operation --- oder um eine einzyklische operation --- handelt kann über das Signal FINISH (0916) von der SM-UNIT abgefragt werden. Dieses ist aktiv, wenn der letzte --- oder einzige --- Zyklus stattfindet. Der SM-UNIT wird der Zustand der SYNC-UNIT über RUN (0917) signalisiert. RUN ist im Falle, daß eine Operation stattfindet aktiv andernfalls inaktiv. Der Mechanismus des STOP-Eintrages im F-PLUREG und des daraus generierten ReConfig ist in Fig. 9 nicht dargestellt, da der Ablauf trivial ist und aus der Beschreibung der SYNC-UNIT hervorgeht.

Figur 10 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Power-UNIT. Das Signal Sleep wird von F-PLUREG auf einen Transistor oder eine Transistorstufe (1001) geleitet. Diese steuert die Spannungsversorgung für alle abschaltbaren Zellfunktionen. Die Sync-UNIT liefert das OneShotPowerSave-Signal (vgl. Figur 16), über welches die Spannungsversorgung der restlichen Zellfunktionen durch einen Transistor oder eine Transistorstufe (1002) freigegeben wird. Abhängig von den tatsächlich verwendeten Funktionen in der Zelle, schalten die Transistoren oder Transistorstufen (1003) die nicht benötigten Funktionen ab (PowerDown). Verständlich ist, daß für ordentliche Spannungsversorgung und EMV-Verhalten weitere entsprechende Vorkehrungen, wie Kondensatoren etc., getroffen werden müssen.

Figur 11 zeigt die Implementierung der Maschine aus Figur 9 in das Konzept. Über die BM-UNIT (1101) werden die Signale



oRDY(1/2) und rACK (vereinfacht dargestellt: tatsächlich existiert rACKh und rACKl,  $rACK = rACKl \& rACKh$ ) zu den CCLK-gesteuerten Latches (1102) geschaltet. Dabei sind die Latch so geschaltet, daß sie in der L-Phase (Busphase) von CCLK transparent sind und in der H-Phase (Verarbeitungsphase) den Zustand halten. Die Ausgänge der Latch stellen die Signale für die Sync-StateMachine (1103) zur Verfügung. rRDY (vereinfacht dargestellt: tatsächlich existiert rRDYh und rRDYl, diese sind vollkommen gleich, werden jedoch an verschiedene Empfänger geleitet) von 1103 wird über Tor auf den Bus geschaltet. Die Signale oACK(1/2) von 1103 werden in der BM-UNIT (1101) negiert und an die wiederum invertierenden Open-Kollektor-Bustreiber (1104) geliefert. Der Bus wird über Widerstände (1105) auf H gezogen. Die BM-UNIT ist dabei geschaltet, daß folgende Fälle eintreten:

1. Wird der entsprechende Bus von der BM-UNIT nicht angesteuert, liegt an der Basis der Transistoren (1104) L an. Dadurch belasten sie den Bus nicht.
2. Wird der entsprechende Bus von der BM-UNIT angesteuert, und das Signal nicht quittiert, liegt an der Basis der Transistoren (1104) H an. Das bedeutet, daß der Bus auf L gezogen wird. Wird ein Ergebnis per Broadcasting an mehrere Datenempfänger verteilt, so ziehen alle PAEs, die die Ergebnisdaten noch nicht quittiert haben und Warte-Zyklen benötigen den Bus auf L.
3. Wird der entsprechende Bus von der BM-UNIT angesteuert, und das Signal quittiert, liegt an der Basis der Transistoren (1104) L an. Das bedeutet, daß der Bus nicht belastet wird. Wird ein Ergebnis per Broadcasting an mehrere Datenempfänger verteilt, so belasten alle PAEs, die die Ergebnisdaten quittiert haben und keine Warte-Zyklen benötigen den Bus nicht.

Da der Bus in seinem Grundzustand den H-Pegel, also die Quittierung, einnimmt, übersteuert die Nichtquittierung gemäß Fall 2 die Quittierung, in dem sie den Bus auf L zieht. Dabei

geht der Bus erst dann in den H-Pegel, also in den Quittierungszustand, wenn alle PAEs quittieren. Es ist somit eine Wired-AND-Schaltung realisiert. Die Sync-StateMachine stellt das Signal RUN (1107) der SM-UNIT (1106) zur Verfügung. Diese läuft aufgrund von RUN an. Befindet sich die SM-UNIT im letzten --- oder einzigen --- Zyklus einer Verarbeitung, so signalisiert sie dies über FINISH (1108) an die Sync-StateMachine. FINISH wird in den Auswerteeinheiten zur Erkennung des letzten Zyklusses (0907, 0915) ausgewertet. Die SM-UNIT läuft synchron zum PAE-internen Takt CLK.

Figur 12 zeigt den Aufbau der BM-UNIT. Abhängig von den Einträgen in das M-PLUREG schalten die Multiplexer (1201, 1202) die Operanden vom internen Bus (1203) zu den O-REG. Ebenfalls schalten die Tore (1204, 1205) die untere und obere Hälfte des Ergebnisses auf den Bus. Der Multiplexer 1206 schaltet die  $oRDY(1/2)$  gemäß der Stellung von 1201 und 1202 und  $rACK$  gemäß der Stellung von 1204 und 1205 vom Bus in die PAE. Dabei werden die  $rACK$  beider Datenempfänger miteinander verUNDet. Existiert nur ein Datenempfänger, so ist der Multiplexer so geschaltet, daß er statt des fehlenden  $rACK$  eine logische 1 zurückgibt. 1207 beinhaltet ein Gate zum Aufschalten der Signale  $oACK(1/2)$  und  $rRDY$  auf den Bus. Dabei werden die Signale  $oACK(1/2)$  zunächst invertiert und dann über Open-Kollektor-Treiber (1104) auf den Bus geschaltet.

Figur 13 verdeutlicht den Aufbau eines O-MUX. Dabei existiert ein 3:5 Dekoder (1301) zum Auswerten der Mode2..0 Signale aus dem M-PLUREG. Der Multiplexer ist über UND-Gatter (1302) mit nachgeschaltetem ODER-Gatter (1303) aufgebaut. Das Auswertesignal von Mode2..0 = 000 des Dekoders (1301) ist dabei direkt auf die ODER-Gatter geschaltet (1304). Das bewirkt, daß in offenem Zustand, d.h. keine Verbindung zu einem Bussystem,

immer logisch 1 zurückgeliefert wird. (Vgl. mit Figur 12 rACK). Zur Vereinfachung ist nur eine reduzierte Busgröße dargestellt.

In Figur 14 ist der Aufbau eines R-GATE dargestellt. Dabei existiert ein 3:4 Dekoder (1401) zum Auswerten der Mode2..0 Signale aus dem M-PLUREG. Das Auswertesignal von Mode2..0 = 000 des Dekoders wird nicht verwendet. Dadurch wird keine Busverbindung bei dieser Bit-Kombination hergestellt. Die Gates (1402) sind entweder durch UND-Gatter oder Transmisson-Gates (vgl. 0701) aufgebaut. Dabei ist eine Verstärkerstufe zum Treiben der Buslast vor- oder nachgeschaltet. Zur Vereinfachung ist nur eine reduzierte Busgröße dargestellt.

Die StateBack-UNIT ist in Figur 15 dargestellt. Gemäß der Einstellung im M-PLUREG schaltet ein Multiplexer (1501) entweder die Signale CarryOut-AlessB, AequalB-0detect von der EALU oder die Ausgänge des R-REG R-REGD2..0 durch. Die Signale gelangen an eine Open-Kollektor-Transistor-Stufe (1502) und werden auf den PLU-Bus geschaltet. Dabei benötigt der PLU-Bus externe, nahe der PLU positionierte Pull-Up-Widerstände (1503). Das Latch 1504 ist optional. Wird es in die Ausgangssignale von 1501 eingeschleift, werden diese erst auf den Bus (1503) geschaltet, nachdem der Datenempfänger die Daten über rACK quittiert hat. Dadurch wird bewirkt, daß die Bereitschaft zur Umkonfigurierung über die Statussignale erst angezeigt wird, wenn die Daten auch angenommen wurden. Normalerweise wird dies durch das Zusammenspiel von STOP und ReConfig in der Sync-UNIT geregelt; daher ist das Latch optional. Das rACK wird dabei als Latch-Takt verwendet. Dabei ist das Latch bei rACK=1 transparent und speichert bei rACK=0.

Figur 16 verdeutlicht die Funktionsweise des OneShot-MODE. Über einen Multiplexer (1601) schalten die Signale

1. Vcc
2. oRDY1

## 3. oRDY2

## 4. (oRDY1 &amp; rACK)

abhängig von der Einstellung im F-PLUREG den Zell-Takt frei. Dabei bewirkt die Freischaltung über Vcc, daß der Takt immer läuft (siehe Timing-Diagramm „Normaler Betrieb“).

In den 3 übrigen Modi läuft der Takt erst an, wenn die Signale, oder Signalkombinationen den Takt freigeben. Die Freigabe wird durch ein Latch (1602) auf den Takt CCLK synchronisiert, damit die Phase nicht vorzeitig abbricht, wenn das Freigabesignal zu kurz ist. Dabei ist das Latch in der L-Phase von CCLK transparent und hält den Wert in der H-Phase. Das Freigabesignal gelangt auf das UND-Gatter-Paar (1603 und 1604), das den Takt freigibt. Über einen Inverter (1605) wird das invertierte Taktsignal !CLK erzeugt, CLK läuft um die Phasengleichheit zu gewährleisten durch ein Verzögerungsglied (1606) (siehe Timing-Diagramm „One-Shot Betrieb“). Dabei wird CCLK in der Zuleitung zu 1604 über zwei Verzögerungszeitungen (1610) verzögert um Phasengleichheit zum an 1603 anliegenden CCLK, das durch den Multiplexer (1608) verzögert wurde, zu gewährleisten. Wird eine PAE in den PowerSave-Mode gebracht, wird die Versorgungsspannung der Zelle weitgehend ausgeschaltet. Dies geschieht über das ODER-Gatter 1611. Ist der PowerSave-MODE eingeschaltet, d.h. PowerSave=1, führt das negierte Signal L. Ist zudem der OneShot-MODE eingeschaltet und das Register 1602 auf L, wird über das OneShotPowerSave-Signal der Spannungsversorgungstransistor in der Power-UNIT (vgl. Figur 17) abgeschaltet. Steht das Register 1602 jedoch auf logisch 1 (oder PowerSave=0), wird der Spannungsversorgungstransistor über 1611 eingeschaltet. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Funktion:

PowerSave	Latch (1602)	Spannung	Bemerkung
L	X	an	
H	L	aus	nur wenn

			OneShot- MODE gesetzt!
H	H	an	

Beim Einschalten der Versorgungsspannung entsteht eine zeitlich bestimmte Aufwachzeit, bis die Zelle arbeitsfähig ist. Um dennoch ordentlich zu funktionieren, müssen die Signale entsprechend verzögert werden. Hierzu wird CCLK über eine Verzögerungsleitung (1607) geleitet. Ein Multiplexer (1608) wählt entsprechend dem Signal PowerSave aus F-PLUREG aus, ob der normale oder verzögerte Takt an die Zelle geleitet wird. Verzögert wird nur der nicht invertierte Takt um den Zeitraum  $\Delta PowerOn$ , der invertierte Takt wird nicht verzögert. Dadurch steht das Ergebnis synchron zu den restlichen Bausteinfunktionen zur Verfügung. Dadurch verringert sich die nutzbare Verarbeitungszeit auf  $\Delta process$ . Die maximale Taktfrequenz des Bausteines hängt somit von  $\Delta PowerOn + \Delta process$  ab. (siehe Timing-Diagramm „One-Shot Betrieb mit PowerSave“).

Figur 17 zeigt ein Implementierungsbeispiel einer PAE. Dabei ist die BM-Unit, die Power-Unit, die StateBack-Unit, der PLU-Bus und das M-PLUREG nicht dargestellt.

Die PAE besitzt drei Eingangsregister oREG1 (1701), oREG2 (1702), oREG3 (1703) für die zu verarbeitenden Daten. Ihre Daten erhalten die Eingangsregister über die BM-Unit von vorangehenden PAE's. Alle Eingangsregister sind Register ohne Schiebefunktion.

Die F-PLUREG (1704, 1705, 1706) bestimmen eine Mehrzahl von Konfigurationen der PAE. Sie werden von der PLU über den PLU-Bus geladen. In ihnen ist jeweils eine Konfiguration gespeichert, die über den Multiplexer (1723) ausgewählt werden. Der Multiplexer (1723) wird vom Register (1724) angesteuert. Das Register (1724) bekommt Daten oder Trigger von einer

vorangehenden PAE durch die BM-Unit. Diese PAE ist nicht mit den PAE's, welche die Daten für die Eingangsregister liefern, identisch. Es sind selbstverständlich auch eine größere oder kleinere Anzahl an F-PLUREG denkbar.

Das dritte Eingangsregister oREG3 (1703) liefert den Operanden für eine Multiply-Add Funktion. Dabei wird der Inhalt des oREG1 (1701) mit dem Inhalt des oREG2 (1702) im Multiplizierer (1709) multipliziert und anschließend der Inhalt des oREG3 (1703) im Addierer/Vergleicher (1718) hinzuaddiert. Der Addierer/Vergleicher ist dabei so konfiguriert, daß er eine Addition durchführt. Soll nur eine Multiplikation durchgeführt werden, wird das oREG3 (1703) mit dem Wert Null geladen. Soll nur eine Addition durchgeführt werden, so schaltet das F-PLUREG den Multiplexer (1711) um. Damit gelangt der Wert des oREG1 (1701) direkt zum Addierer/Vergleicher (1718). Die zweite Funktion des Addierer/Vergleicher (1718) nimmt den Wert des oREG1 (1701) und den Wert des oREG3 (1703) und vergleicht beide Werte. Die Ausgangssignale CarryOut-AlessB und AequalB-0detect (1719) zeigen an, ob die beiden Werte gleich oder der Wert des oREG3 (1703) größer oder kleiner ist als der Wert des oREG1 (1701).

Weitere in der PAE realisierte Funktionen sind ein Schieberegister (1712), ein Dividierer (1713), logische Funktionen (1714) wie UND, OR, NOT, sowie ein Zähler (1715). Der Zähler (1715) erzeugt ein Triggersignal (1720) sobald er von einem vorgegebenen Wert auf Null gezählt hat. Geladen wird der Zähler (1715) direkt mit dem Wert, den auch das oREG3 (1703) erhält. Es ist auch denkbar andere Zähler einzusetzen, wie Aufwärtszähler, die von Null auf einen geladenen Wert zählen und dann ein Triggersignal generieren.

Die Ergebnisse der Funktionseinheiten werden durch den Multiplexer (1716) an die beiden Ausgangsregister rREG1 (1710) und rREG2 (1717) weitergeleitet, die mit der BM-Unit in

Verbindung stehen und so die Daten an nachfolgende PAE's weitergeben. Gesteuert wird der Ablauf von einer Sync-Unit (1708), die mit der Trigger-Logik (1707) verbunden ist. Außerdem tauscht sie mit der Config-State-Machine Steuersignale aus, die den korrekten Ablauf bei einer Änderung der Konfiguration durch den Multiplexer (1723) gewährleisten. Die Trigger-Logik (1707) steht mit dem F-PLUREG in Verbindung und wertet die eingehenden Signale (1722), abhängig von der in den F-PLUREG gespeicherten Konfiguration aus. Die eingehenden Signale umfassen das ReConfig, das generelle Triggersignal, sowie die Handshake-Signale oRDY und rACK. Abhängig von der Konfiguration gibt die Trigger-Logik (1707) die Handshake-Signale an die Sync-Unit (1708) weiter, die wiederum die Enable-Signale für die Eingangs-, Ausgangsregister und den Zähler generiert. Außerdem erzeugt die Sync-Unit (1708) die ausgehenden Handshake-Signale oACK und rRDY, die sie zur Trigger-Logik (1707) weitergibt. Abhängig von der Konfiguration können die Signale (1719) oder der Trigger des Zählers (1720) als generelles Trigger-Signal verwendet und zur Trigger-Logik (1707) geleitet werden. Von der Trigger-Logik (1707) ausgehend sind die Signale (1721) ReConfig, Handshake oRDY und rACK und das generelle Triggersignal, die wiederum zur BM-Unit geleitet werden.

Figur 18 zeigt eine PAE mit dem gleichen Funktionsumfang die in Figur 17 beschriebenen PAE. Auch hierbei wurde auf die Darstellung der BM-Unit, der Power-Unit, der StateBack-Unit und der M-PLUREG verzichtet. Sie besteht aus drei Eingangsregistern oREG1 (1801), oREG2 (1802), oREG3 (1803), zwei Ausgangsregistern rREG1 (1804), rREG2 (1818), drei F-PLUREG (1813, 1814, 1815), einem Multiplexer (1818) einer Sync-Unit (1805) und einer Trigger-Logik (1806). Die Funktionseinheiten sind ein Dividierer (1807), ein Multiplizierer (1817), ein Addierer/Vergleicher (1809), Logikfunktionen (1810), ein Schieberegister (1811) und einem Zähler (1812). Die Funktion der einzelnen Einheiten entspricht der in Figur 17 geschriebenen. Es ist auch denkbar

weitere Funktionen in der PAE zu integrieren wie z.B. die Trigonometrischen Funktionen, Wurzel- und Exponentialfunktion. Dies gilt selbstverständlich auch für die in Figur 17 beschriebene PAE. Die einzelnen Funktionen sind als Integer oder Floating-Point Einheiten realisierbar. Im Unterschied zur PAE in Figur 17 sind die einzelnen Funktionseinheiten über ein Bussystem (1816) gekoppelt, so daß die einzelnen Funktionen in beliebiger Reihenfolge miteinander verbunden werden können. Die Verschaltung wird durch die Konfiguration bestimmt, die in den F-PLUREG abgelegt ist. Das Bussystem (1816) kann auf verschiedene Weise aufgebaut werden. Möglich sind ein oder mehrere segmentierte Busse, deren Segmente jeweils zwei miteinander verschaltete Funktionen verbindet oder eine Anzahl durchgehender Busse, die jeweils zwei Funktionseinheiten miteinander verschalten. Weiterhin besteht die Möglichkeit, daß die einzelnen Funktionseinheiten und Register eine Ziel-Adresse abschicken, mit deren Hilfe eine Verbindung aufgebaut wird.

Figur 19 zeigt eine Config-State-Machine, die die Konfigurationsregister verwaltet. Zu Beginn befindet sich die Config-State-Machine im Zustand IDLE (1901). Dieser Zustand wird erst verlassen, nachdem ein rRDY Signal der Config-PAE eintrifft, die das Konfigurationsregister auswählt. Danach geht die Config-State-Machine in den Stop-Zustand (1902) über und sendet ein Stop-Signal an die Sync-Unit der PAE. Die PAE beendet ihre Operation zum nächst möglichen Zeitpunkt und sendet einen Stop-Acknowledge zur Config-State-Machine. Diese geht in den Zustand Reload (1903) über und sendet ein Enable-Signal zum Register der Config-PAE. Danach wechselt die Config-State-Machine in den Zustand Restart (1904), sendet ein Start-Signal zur Sync-Unit, die ihre Verarbeitung wieder aufnimmt. Gleichzeitig schickt sie ein rACK Signal zu der Config-PAE. Abschließend springt die Config-State-Machine wieder in den IDLE Zustand (1901).



Figur 20 stellt eine State-Machine zum automatischen Durchlauf der verschiedenen Konfigurationen der PAE dar, die im Folgenden Loop-State-Machine genannt wird. Da mehrere F-PLUREG vorhanden sind, ist es u.U. sinnvoll mehrere Operationen nacheinander durchzuführen und erst anschließend die Daten, sowie die Triggersignale und Handshake-Signale zur nachfolgenden PAE weiterzugeben.

Das Ergebnis der einzelnen Operationen wird vom rREG der PAE über die bereits beschriebene Rückkopplung zu den Eingangsregistern zurückgeführt. Dieser Vorgang kann über ein von einem externen Stop-Loop-Signal oder einem internen Zähler gesteuert werden.

Zu Beginn befindet sich die Loop-State-Machine im IDLE Zustand (2001). Im IDLE-Zustand (2001) gibt die Loop-State-Machine ein Reset-Signal an einen Zähler. Dieser Zähler dient zur Anwahl des F-PLUREG. Nach dem rRDY der vorangehenden PAE geht die Loop-State-Machine in den Konfigurationszustand (2002) über. Dabei erzeugt sie die Handshake-Signale für die PAE und die Kontrollsignale für die Config-State-Machine. Außerdem wird ein Enable-Signal für den Zähler erzeugt, dessen Wert um Eins erhöht wird. Bekommt die Loop-State-Machine nun kein Stop-Loop-Signal oder hat der interne Zähler der PAE noch nicht seinen Endwert erreicht, verbleibt sie im Konfigurationszustand (2002) und der zuvor beschriebene Ablauf wiederholt sich. Beim Eintreffen eines Stop-Loop-Signals oder wenn der interne Zähler der PAE seinen Endwert erreicht hat, kehrt die State-Machine in den IDLE-Zustand (2001) zurück und das rRDY Signal wird zur nachfolgenden PAE geleitet.

Figur 21 zeigt den für den sequentiellen Durchlauf, der in den F-PLUREG gespeicherten Konfigurationen benötigten Teil der PAE. Die F-PLUREG (2104) erhalten ihre Daten von der PLU (2107) und sind gegenüber den zuvor beschriebenen Ausführungen etwas modifiziert. Jedes F-PLUREG enthält ein zusätzliches Bit, das sogenannte Loop-Bit (2106). Dieses Loop-Bit wird zur in Figur 20

beschriebenen Loop-State-Machine (2101) durch die Verbindung (2112) zurückgeführt. Es dient dort als Stop-Loop Signal, das heißt bei gesetztem Loop-Bit (2106) wird der Loop-Vorgang beendet, ansonsten wird er fortgeführt bis das Loop-Bit gesetzt wird oder der in Figur 20 beschriebene interne Zähler der Loop-State Machine (2101) seinen Endwert erreicht hat. Die Loop-State-Machine (2101) steuert den Zähler (2102) an, dessen Wert die Selektion des F-PLUREG (2104) durch den Multiplexer (2105) steuert. Die Kontrollsignale der Config-State-Machine und die Handshake-Signale der PAE werden durch die Verbindung (2113) übertragen. Die Konfigurationsdaten der F-PLUREG werden über die Verbindung (2108) zu den Funktionseinheiten der PAE weitergegeben.

Der Zähler (2102) erhält ein Enable-Signal (2110), so daß der Wert des Zählers (2102) um Eins erhöht wird. Außerdem gibt die Loop-State-Machine (2101) sobald ein Loop-Vorgang beendet ist, ein Reset-Signal (2111) an den Zähler. Über den Multiplexer (2103) kann zwischen Loop-Mode und dem normalen Ablauf in der PAE ausgewählt werden. Beim normalen Ablauf gibt der Multiplexer (2103) ein Datum (2109) zur Auswahl eines F-PLUREG (2104) an den Multiplexer (2105) weiter.

## 5 Begriffsdefinition

<b>AequalB-0detect</b>	Durch die EALU generiertes Signal, das bei arithmetischen Operationen anzeigt, daß das Ergebnis gleich null ist. Bei Vergleichen wird angezeigt, daß Operand A gleich Operand B ist.
<b>ALU</b>	Arithmetisch logische Einheit. Grundeinheit zum Verarbeiten von Daten. Die Einheit kann arithmetische Operationen wie Addition, Subtraktion, unter Umständen auch Multiplikation, Division, Reihenentwicklungen usw. durchführen. Dabei kann die Einheit als ganzzahlige (integer) Einheit oder als Fließkomma-(floating-point)-Einheit gestaltet sein. Ebenfalls kann die Einheit logische Operationen, wie UND, ODER, sowie Vergleiche durchführen.
<b>BM-UNIT</b>	Einheit zum Umschalten der Daten auf die Bussysteme außerhalb der PAE. Das Umschalten geschieht über Multiplexer für die Dateneingänge und Tore für die Datenausgänge. oACK-Leitungen sind als Open-Kollektor-Treiber implementiert. Die BM-UNIT wird durch das M-PLUREG gesteuert.
<b>Broadcast</b>	Senden von Daten einer PAE an mehrere Datenempfänger.
<b>CarryOut-AlessB</b>	Durch die EALU generiertes Signal, das bei arithmetischen Operationen einen Übertrag anzeigt. Bei Vergleichen wird angezeigt, daß Operand A kleiner als Operand B ist.
<b>Datenempfänger</b>	Die Einheit(en), die Ergebnisse der PAE weiterverarbeitet/-arbeiten
<b>Datensender</b>	Die Einheit(en), die Daten für die PAE als Operanden zur Verfügung stellt/stellen
<b>D-FlipFlop</b>	Speicherelement, welches ein Signal bei der steigenden Flanke eines Taktes speichert.
<b>EALU</b>	Erweiterte arithmetisch logische Einheit. ALU, die um Sonderfunktionen, die zum Betrieb einer Datenverarbeitungseinrichtung gemäß DE 441 16 881 A1 benötigt werden oder sinnvoll sind erweitert wurde. Dies sind insbesondere Zähler.
<b>FPGA</b>	Programmierbarer Logikbaustein. Stand der Technik.
<b>F-PLUREG</b>	Register in dem die Funktion der PAE gesetzt wird. Ebenfalls wird der OneShot- und Sleep-Mode gesetzt. Das Register wird von der PLU beschrieben.
<b>Gatter</b>	Gruppe von Transistoren, die eine logische Grundfunktion durchführen. Grundfunktionen sind z.B. NAND, NOR, Transmission-Gates.
<b>H-Pegel</b>	Logisch 1 Pegel, abhängig von der verwendeten Technologie
<b>Handshake</b>	Signalprotokoll, bei dem ein Signal A einen Zustand anzeigt und ein anderes Signal B bestätigt, daß es Signal A akzeptiert und darauf reagiert (hat).

<b>Konfigurieren</b>	Bestimmen der Funktion und Vernetzung einer logischen Einheit, einer (FPGA)-Zelle oder einer PAE (vgl. umkonfigurieren).
<b>Latch</b>	Speicherelement, das ein Signal für gewöhnlich während des H-Pegels transparent weiterleitet und während des L-Pegels speichert. In PAEs werden teilweise Latches gebraucht, bei denen die Funktion der Pegel genau umgekehrt ist. Hierbei wird vor den Takt eines üblichen Latch ein Inverter geschaltet.
<b>L-Pegel</b>	Logisch 0 Pegel, abhängig von der verwendeten Technologie
<b>M-PLUREG</b>	Register in dem die Vernetzung der PAE gesetzt wird. Das Register wird von der PLU beschrieben.
<b>Next-Neighbour Vernetzung</b>	Vernetzung der Bussysteme mit den an den Kanten anstoßenden Nachbarn.
<b>O-MUX</b>	Multiplexer innerhalb der BM-UNIT, der das Bussystem der Operanden auswählt.
<b>OneShot</b>	Modus in dem eine PAE mit einem geringerem als dem Prozessortakt arbeitet. Der Takt ist synchron zum Prozessortakt und entspricht einer Periode. Eine Phasenverschiebung existiert nicht. Der Takt wird über eines der Signale oRDY(1/2) oder rRDY freigegeben. Dieser Modus dient der Stromeinsparung, wenn die Datensender oder -empfänger langsamer als der Prozessortakt Daten senden oder empfangen.
<b>Open-Kollektor</b>	Schaltungstechnik, bei der der Kollektor eines Transistors an einem, über einen Pullup auf den H-Pegel gezogenen, Bussignal liegt. Der Emitter der Transistors liegt auf Masse. Schaltet der Transistor, so wird das Bussignal auf den L-Pegel gezogen. Vorteil des Verfahrens ist, daß eine Mehrzahl solcher Transistoren den Bus ohne elektrische Kollision steuern können. Dabei sind die Signale ODER-verküpft, es entsteht das sog. wired-OR.
<b>O-REG</b>	Operandenregister zur Speicherung der Operanden der EA-LU. Ermöglicht die zeitliche und funktionelle Unabhängigkeit der PAE von den Datensendern. Dadurch wird der Transfer der Daten vereinfacht, da er asynchron oder paketorientiert stattfinden kann. Gleichzeitig wird die Möglichkeit geschaffen die Datensender unabhängig von der PAE oder die PAE unabhängig von den Datensendern umzukonfigurieren.
<b>O-REGsft</b>	O-REG mit durch SM-UNIT gesteuertem Schieberegister.
<b>PA</b>	Processing Array: Array aus PAEs
<b>PAE</b>	Processing Array Element: EALU mit O-REG, R-REG, R2O-MUX, F-PLUREG, M-PLUREG, BM-, SM-, Sync-, StateBack- und Power-UNIT.
<b>PLU</b>	Einheit zum Konfigurieren und Umkonfigurieren der PAE. Ausgestaltet durch einen speziell an seine Aufgabe angepaßten Mikrokontroller.

<b>PowerSave-MODE</b>	Stromsparmmodus Modus innerhalb des OneShot-MODE. Während keine Operation ausgeführt wird, werden alle Teile der PAE mit Ausnahme des F-, M-PLUREG und Sync-UNIT nicht mit Spannung versorgt.
<b>Power-UNIT</b>	Einheit die die Stromsparfunktionen regelt.
<b>PullDown</b>	Widerstand, der eine Busleitung auf einen L-Pegel zieht.
<b>PullUp</b>	Widerstand, der eine Busleitung auf einen H-Pegel zieht.
<b>R-GATE</b>	Schalter innerhalb der BM-UNIT, der das Ergebnis auf das entsprechende Bussystem aufschaltet. Dabei sind einige Signal über als Open-Kollektor-Treiber aufgeschaltet. Das R-GATE arbeitet als Bustreiber und kann in einen busneutralen Modus gehen.
<b>R2O-MUX</b>	Multiplexer zum Einschleifen des Ergebnisses in einem R-REGsft in den Datenpfad zwischen O-REG und EALU.
<b>R-REGsft</b>	Ergebnisregister zur Speicherung des Ergebnis der EALU. Ermöglicht die zeitliche und funktionelle Unabhängigkeit der PAE von den Datenempfängern. Dadurch wird der Transfer der Daten vereinfacht, da er asynchron oder paketorientiert stattfinden kann. Gleichzeitig wird die Möglichkeit geschaffen die Datenempfänger unabhängig von der PAE oder die PAE unabhängig von den Datenempfängern umzukonfigurieren. Das Register ist mit einer Schiebfunktion versehen, die von der SM-UNIT gesteuert wird.
<b>serielle Operationen</b>	Operationen, die durch serielles Abarbeiten eines Datenwortes oder eines Algorithmus durchgeführt werden. Serielle Multiplikation, serielle Division, Reihenentwicklung
<b>Sleep-MODE</b>	Stromsparmmodus in dem die PAE mit Ausnahme von F-PLU-REG ohne Spannung ist.
<b>SM-UNIT</b>	StateMachine-UNIT. Zustandsmaschine, die die EALU steuert.
<b>StateBack-UNIT</b>	Einheit, die die Rückmeldung der Statussignale an die PLU steuert. Bestehend aus einem Multiplexer und einer Open-Kollektor-Bustreiberstufe
<b>Sync-UNIT</b>	Einheit, die die Synchronisation der PAE mit den Datensendern und -empfängern übernimmt, sowie das Umkonfigurieren von PAEs überwacht. Gleichzeitig werden die OneShot-Funktionen übernommen.
<b>Tor</b>	Schalter, der ein Signal weiterleitet oder sperrt. Einfacher Vergleich: Relais
<b>Umkonfigurieren</b>	Neues Konfigurieren von einer beliebigen Menge von PAEs während eine beliebige Restmenge von PAEs ihre eigenen Funktionen fortsetzen (vgl. konfigurieren).
<b>Zustandsmaschine</b>	Logik, die diversen Zuständen annehmen kann. Die Übergänge zwischen den Zuständen sind von verschiedenen Ein-

gangsparametern abhängig. Diese Maschinen werden zur Steuerung komplexer Funktionen eingesetzt und entsprechen dem Stand der Technik

## 6 Konventionen

### 6.1 Namenskonvention

Baugruppe	-UNIT
Betriebsart	-MODE
Multiplexer	-MUX
Negiertes Signal	not-
Register für PLU sichtbar	-PLUREG
Register intern	-REG
Schieberegisters	-sft

### 6.2 Funktionskonvention

Schieberegisters sft

UND-Funktion &

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ODER-Funktion #

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

NICHT-Funktion !

A	Q
0	1
1	0

TOR-Funktion G

EN	D	Q
0	0	-
0	1	-
1	0	0
1	1	1



## Patentansprüche

1. Konfigurierbare, von einer Ladelogik (PLU) gesteuerte während der Laufzeit umkonfigurierbare Einheit zur Verarbeitung von numerischen und logischen Operationen (PAE), zum Einsatz in Prozessoren (CPUs), Mehrrechnersystemen, Datenflußprozessoren (DFPs), Digitalen Signal Prozessoren (DSPs), systolischen Prozessoren und programmierbaren Logikbausteinen (FPGAs), dadurch gekennzeichnet,

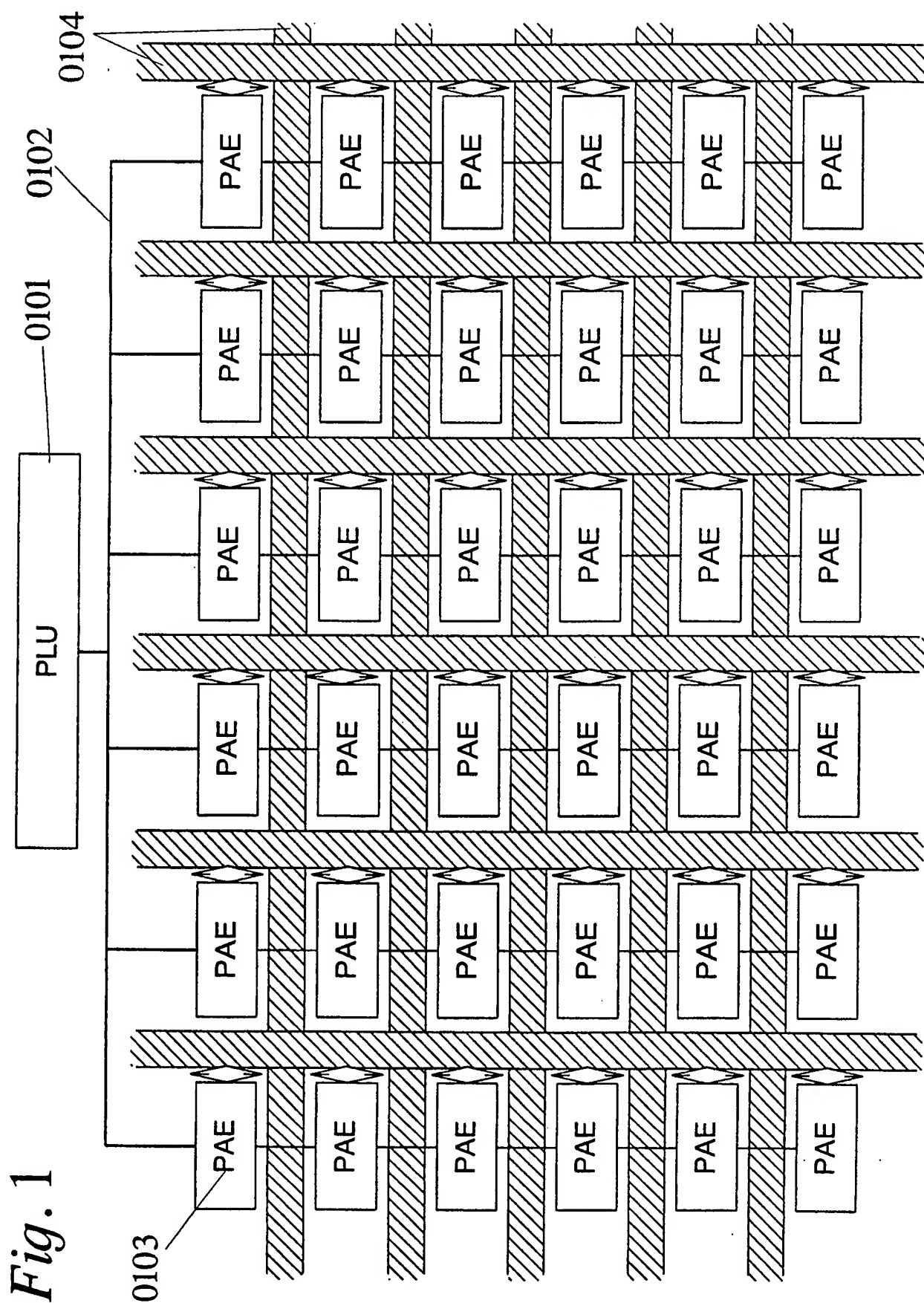
- daß a) eine programmierbare Recheneinheit (EALU) zur Durchführung der mathematischen und logischen Grundfunktionen vorgesehen ist,
- daß b) die Funktion und Vernetzung der Recheneinheit in Register programmiert wird und eine Vielzahl von Daten, ohne Umprogrammierung der PAE, verarbeitet werden kann,
- daß c) zur Steuerung der Recheneinheit (EALU) eine Zustandsmaschine (SM-UNIT) existiert,
- daß d) Register für jeden Operanden (O-REG) und das Ergebnis (R-REG) vorgesehen sind, wobei die Register teilweise als Scheiberegister ausgeführt werden können,
- daß e) eine Rückkopplung der Daten des Ergebnisregisters auf einen Eingang der EALU über einen Multiplexer (R2O-MUX) besteht,
- daß f) eine Buseinheit (BM-UNIT) den Abgriff der Daten von einem Bussystem bzw. das Einspeisen des Ergebnisses auf ein Bussystem ermöglicht, wobei die Buseinheit Daten an mehrere Empfänger versenden kann und die Synchronisierung auch mehrerer Empfänger automatisch erfolgt,
- daß g) der Buszugriff von der Datenverarbeitung in der EALU über die Register entkoppelt ist und somit jede PAE als unabhängige Einheit betrachtet werden kann, insbesondere die Konfiguration und Umkonfiguration eine PAE keinen störenden Einfluß auf die Datensender und -empfänger, sowie die unabhängigen PAEs hat,

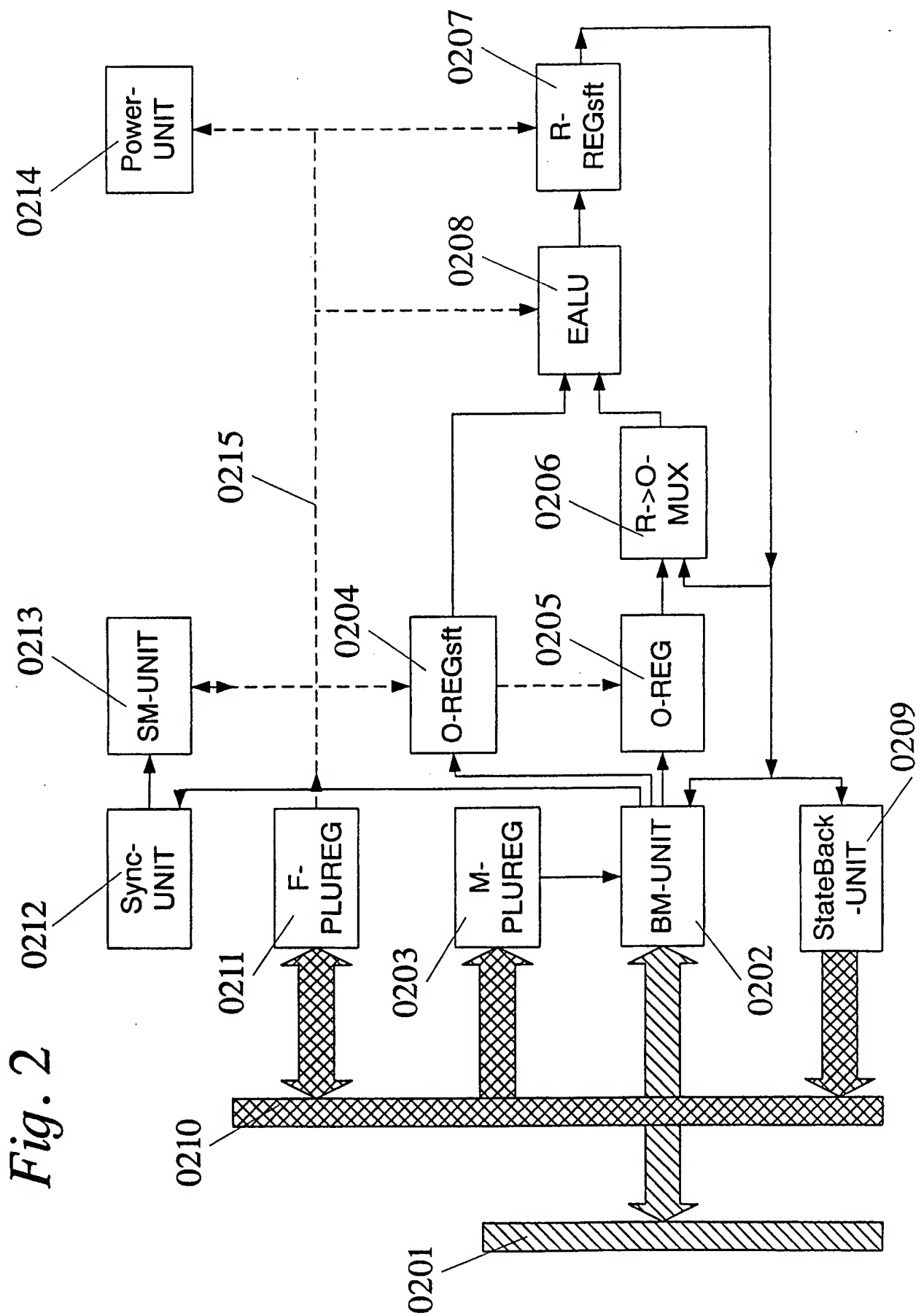
- daß h) der Ablauf der Bustransfers über eine Zustandsmaschine (SYNC-UNIT) automatisch gesteuert wird und dafür Handshake-Leitungen oRDY, oACK, rRDY und rACK zur Verfügung stehen, und
- daß i) Rückmeldungen an die PLU zur Erkennung des Zustandes der Verarbeitung und der Umkonfigurierbarkeit der PAE erfolgen (StateBack-UNIT),

2. Einheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenverarbeitung einer PAE angehalten werden kann (Eintrag STOP in F-PLUREG) und die PAE daraufhin nach Vollendung der gerade laufenden Datenverarbeitung ihre Bereitschaft zur Umkonfiguration anzeigt (ReConfig).

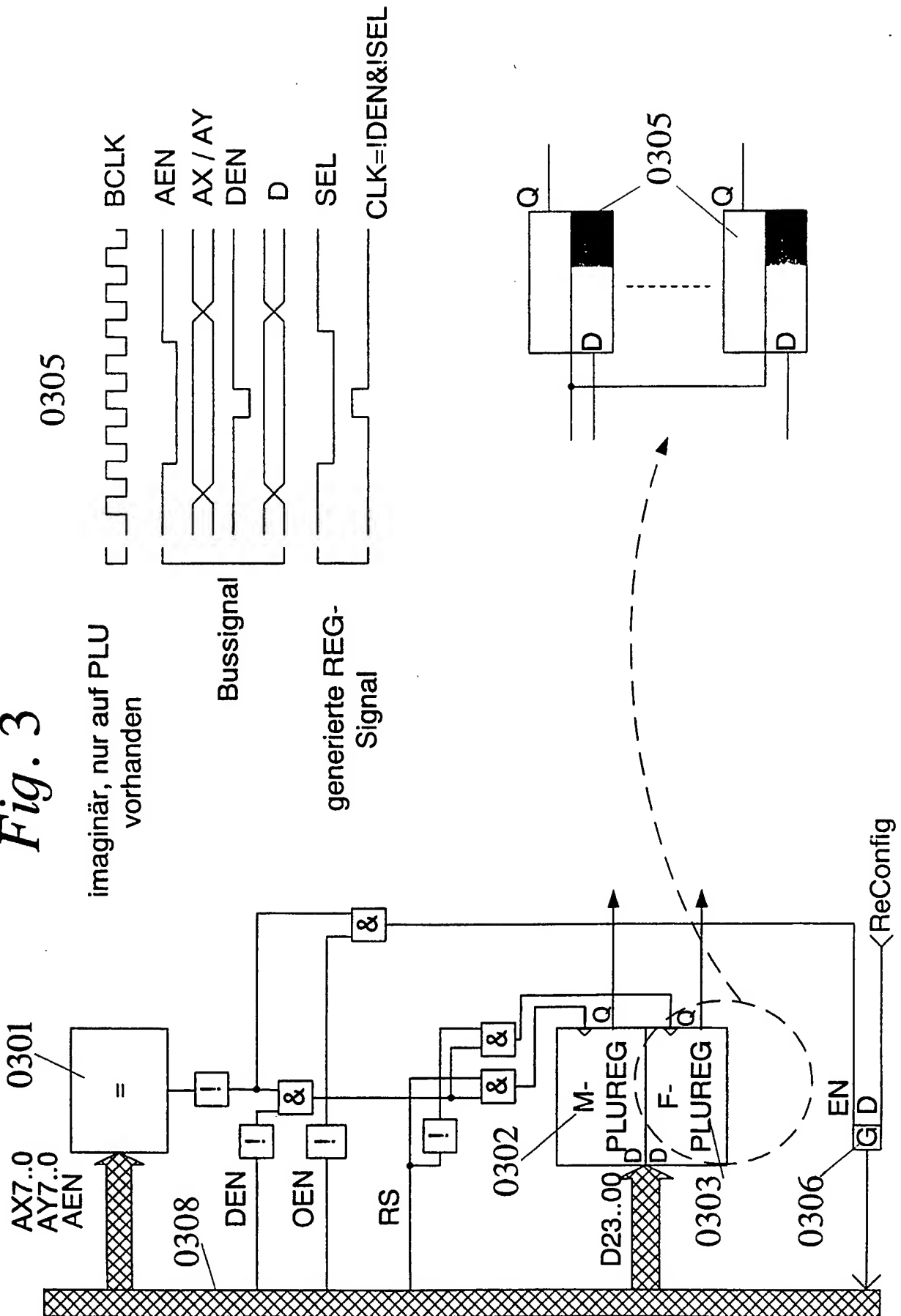
3. Einheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Stromsparmodi existieren,

- a) in welchen die PAE immer nur dann arbeitet, wenn Operanden vom Datensender am Eingang bereitstehen und das Ergebnis bereits vom Empfänger angenommen wurde, und die PAE ansonsten ohne Takt statisch bleibt,
- b) in welchen Teilbereiche der PAE, die zur Ausführung der momentanen Datenverarbeitung irrelevant sind, von der Takt- und/oder Stromversorgung getrennt sind,
- c) in welchen die PAE von der Spannungsversorgung getrennt ist.





*Fig. 3*



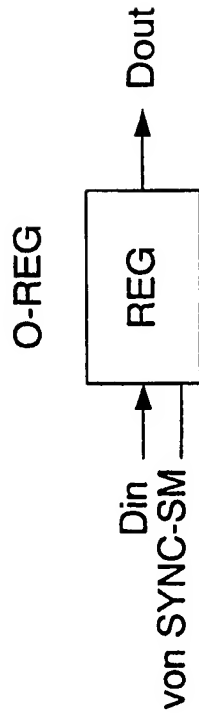


Fig. 4a

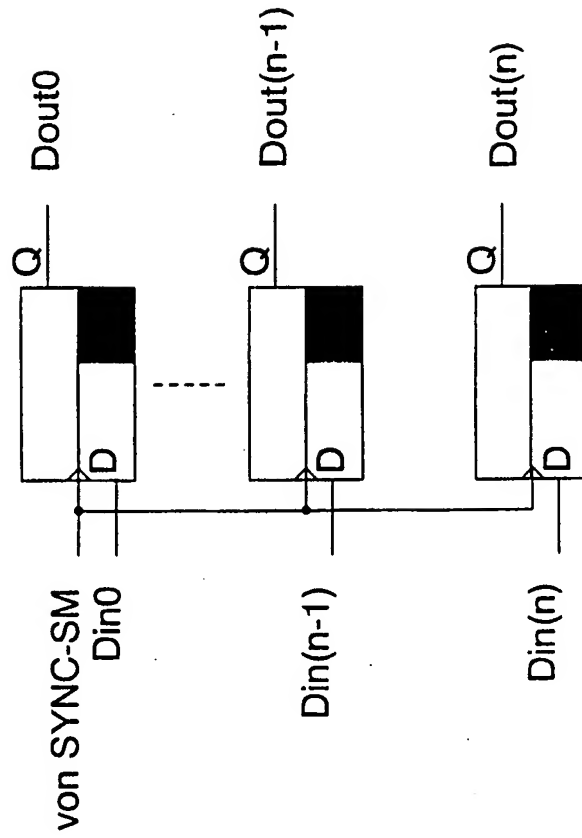


Fig. 4b

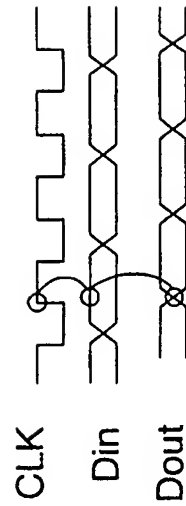
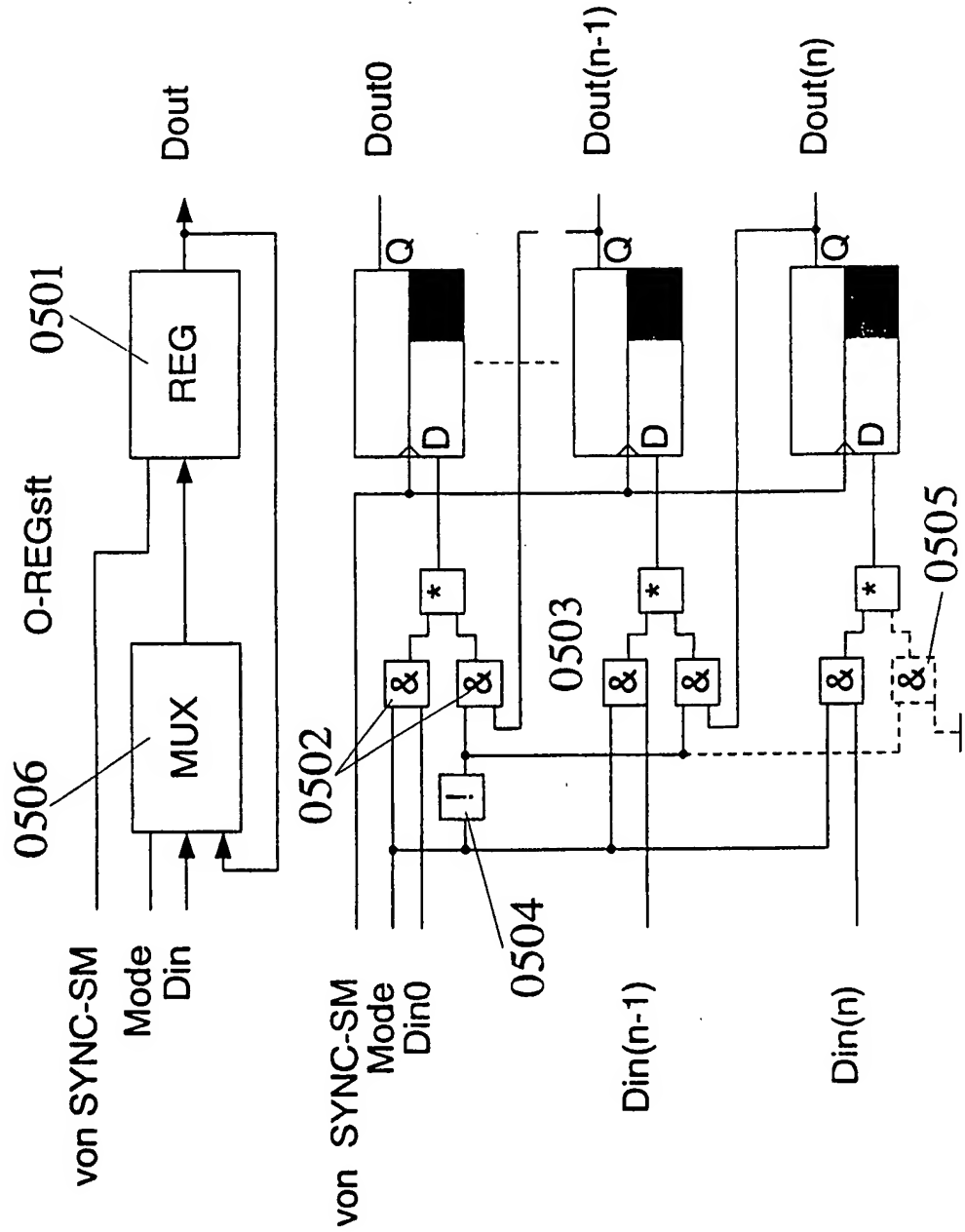
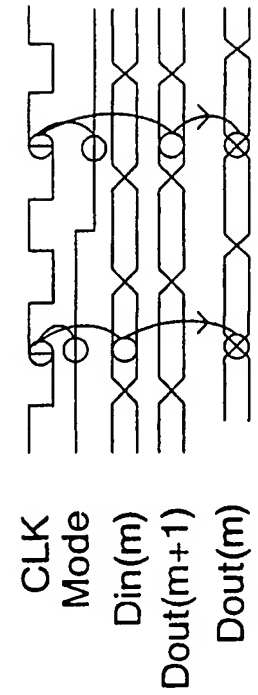


Fig. 4c

*Fig. 5a*



*Fig. 5b*



*Fig. 5c*

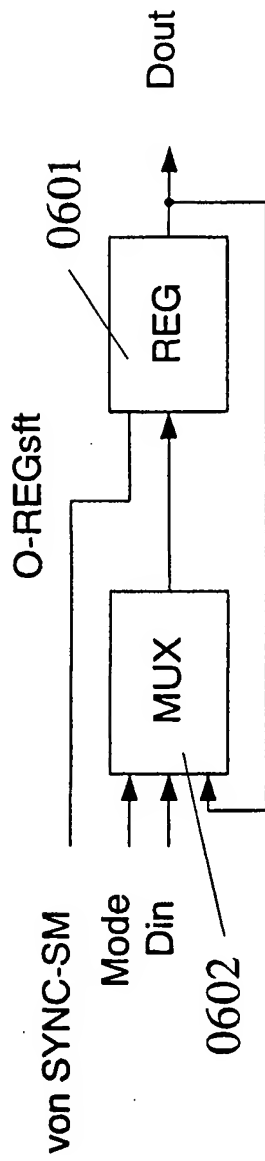


Fig. 6a

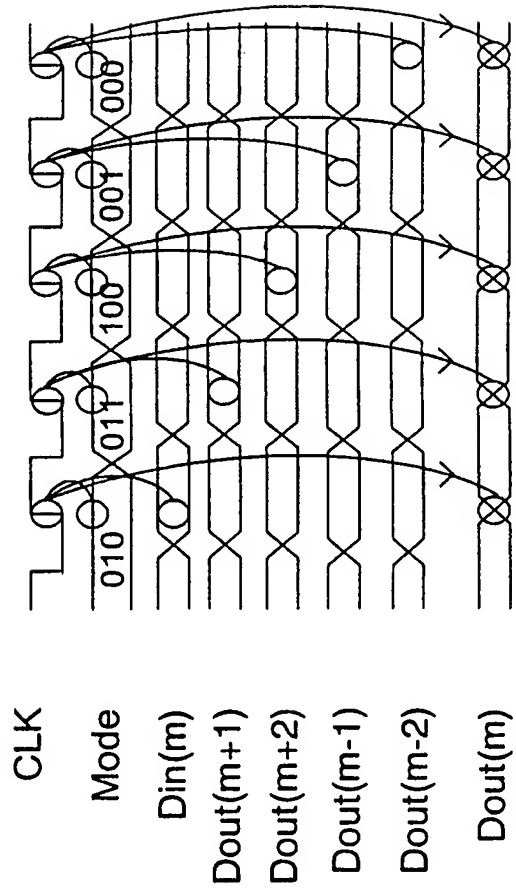
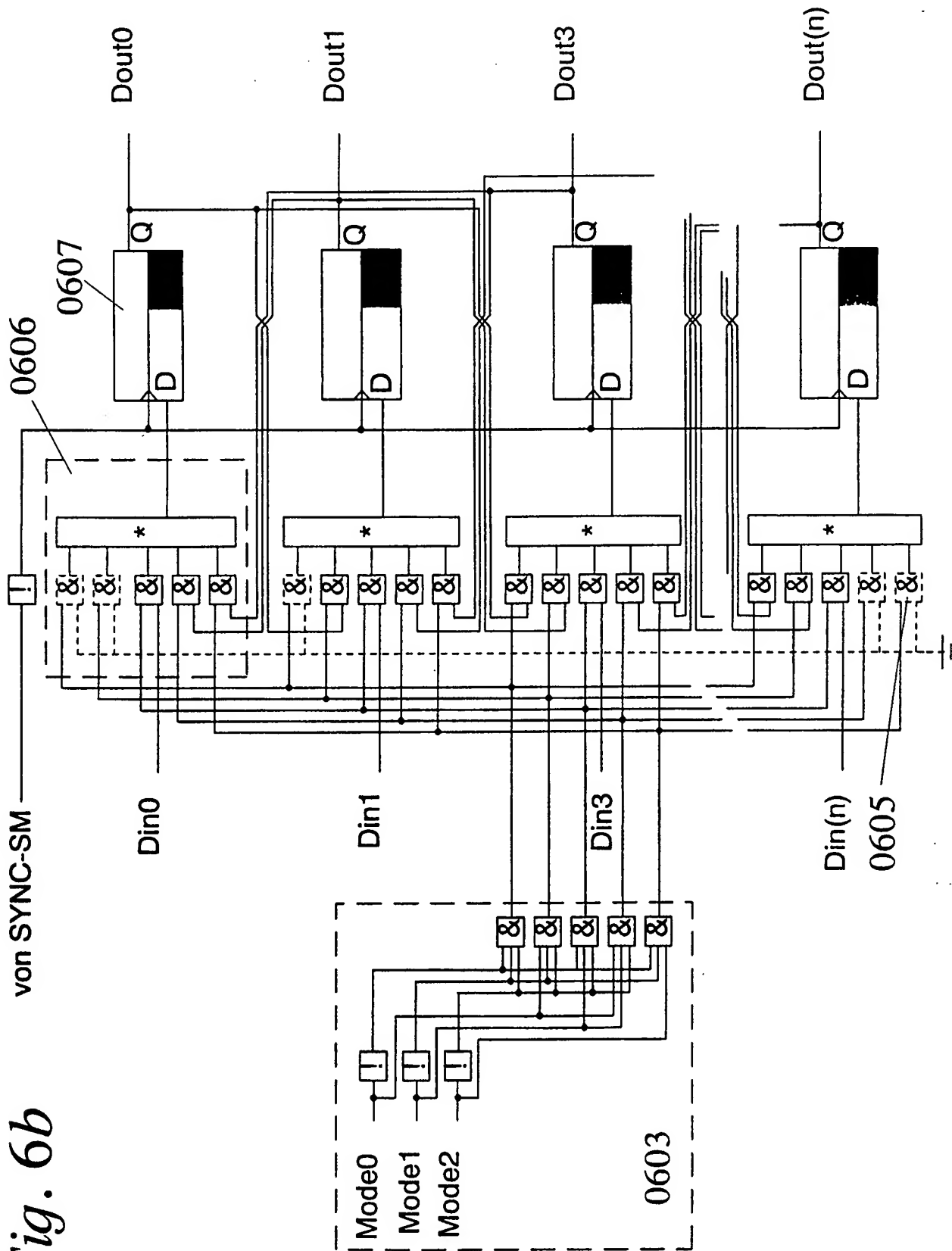
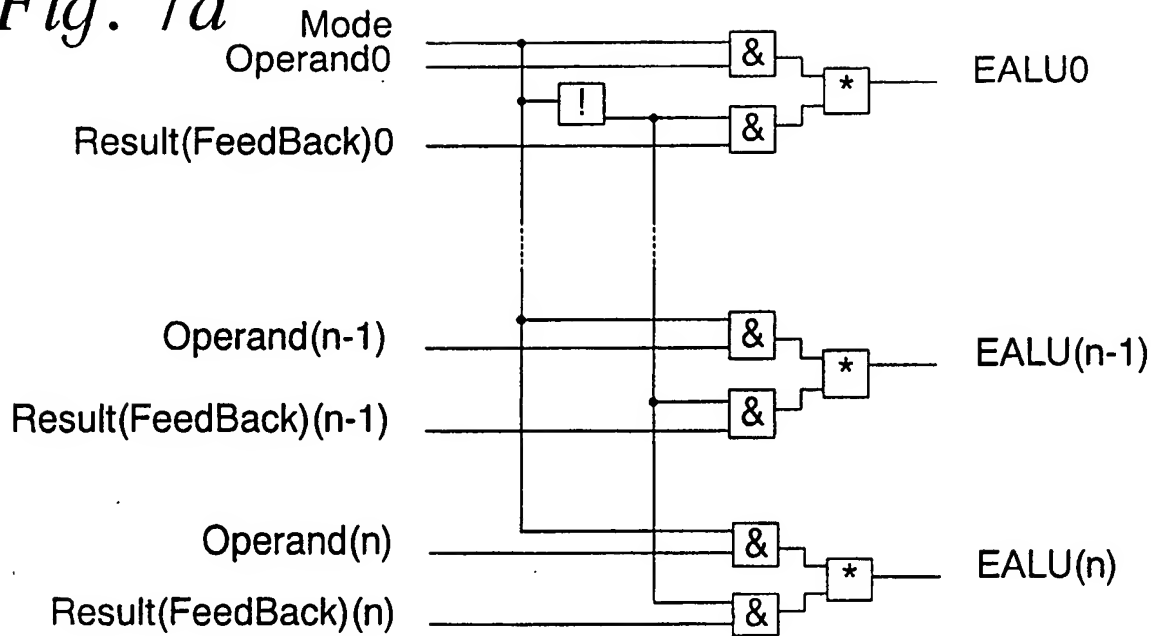
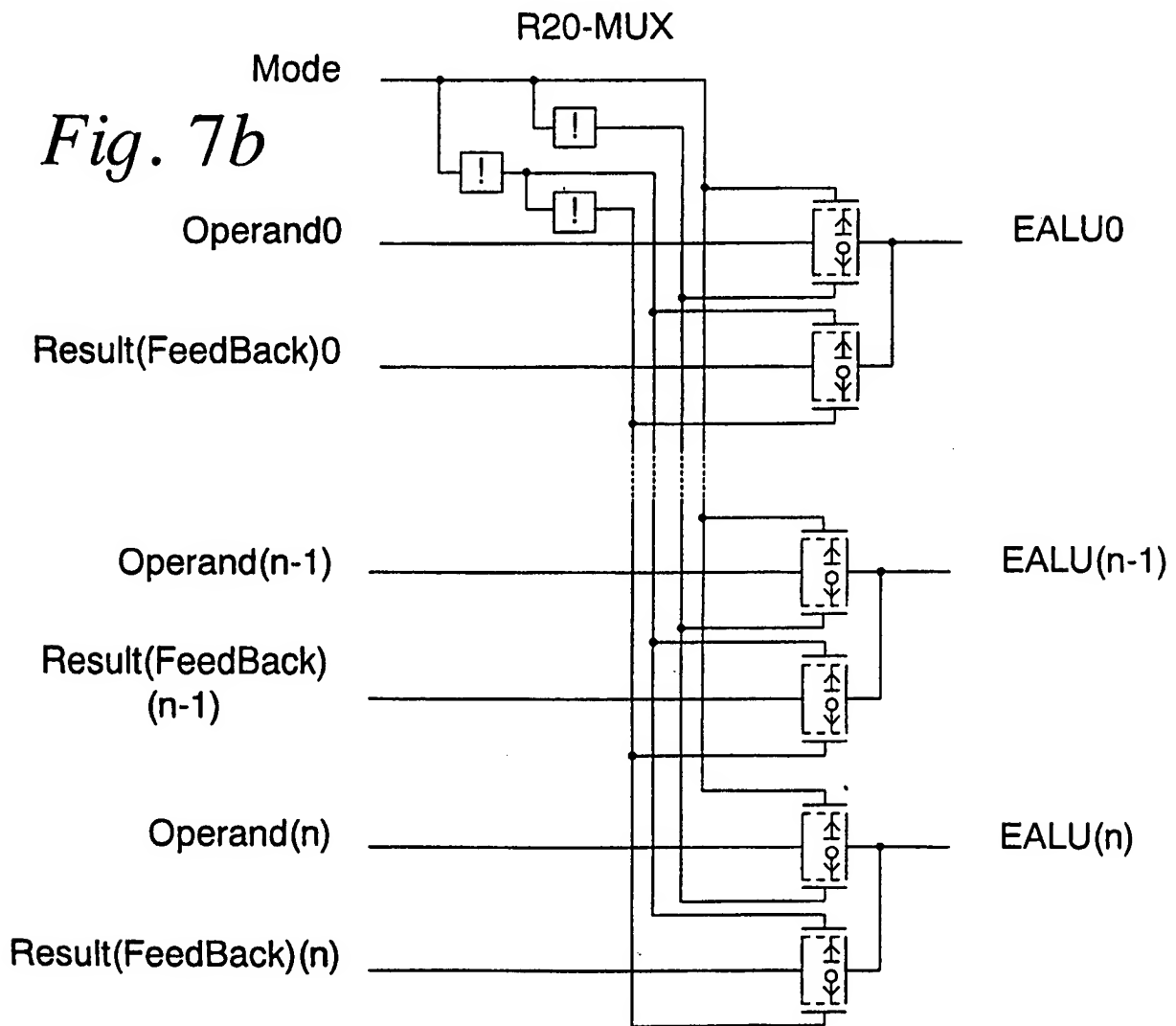


Fig. 6c



Fig. 6b



*Fig. 7a**Fig. 7b*

**Fig. 8** Taktsynchronisation und Verzögerung

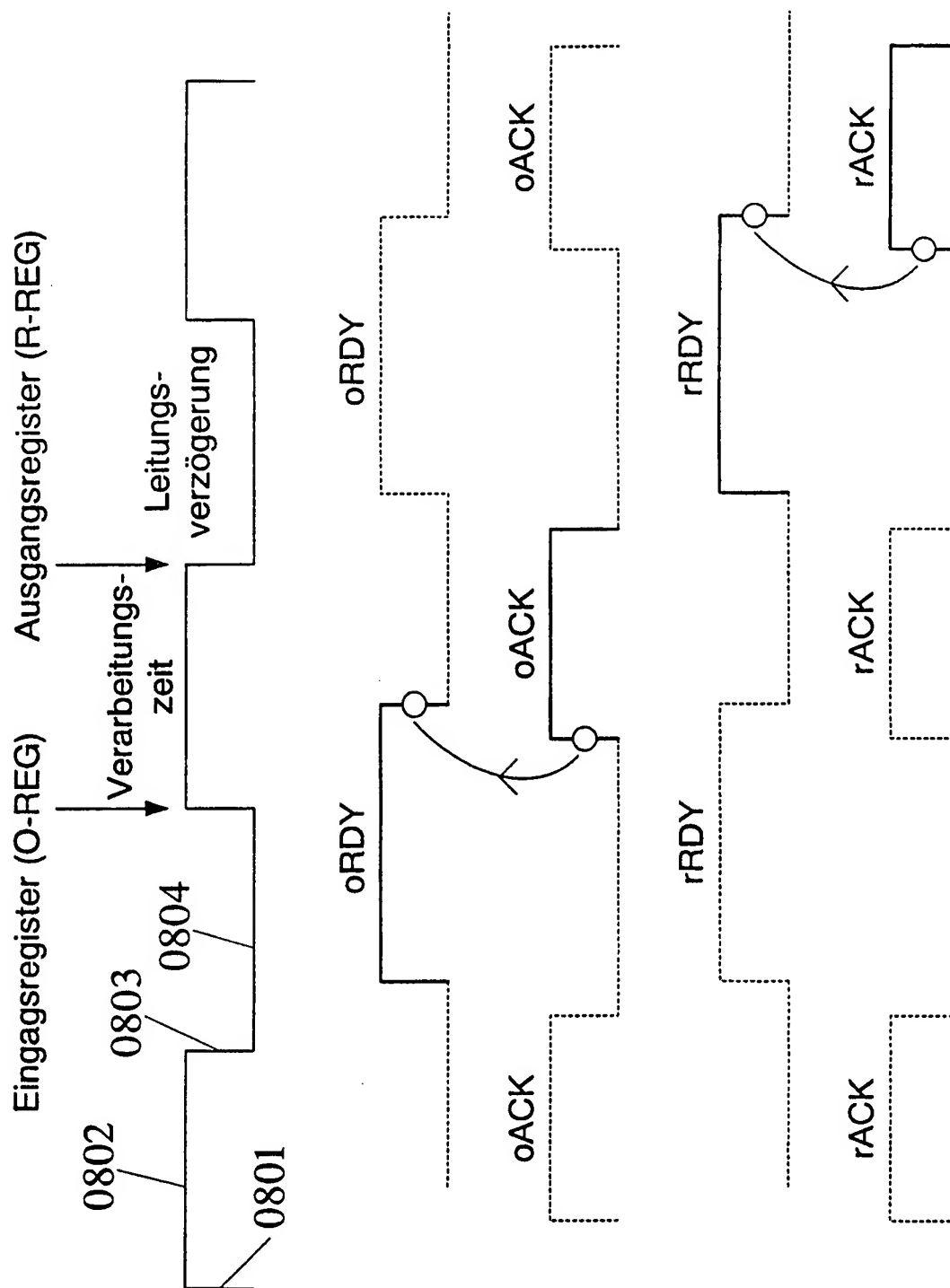
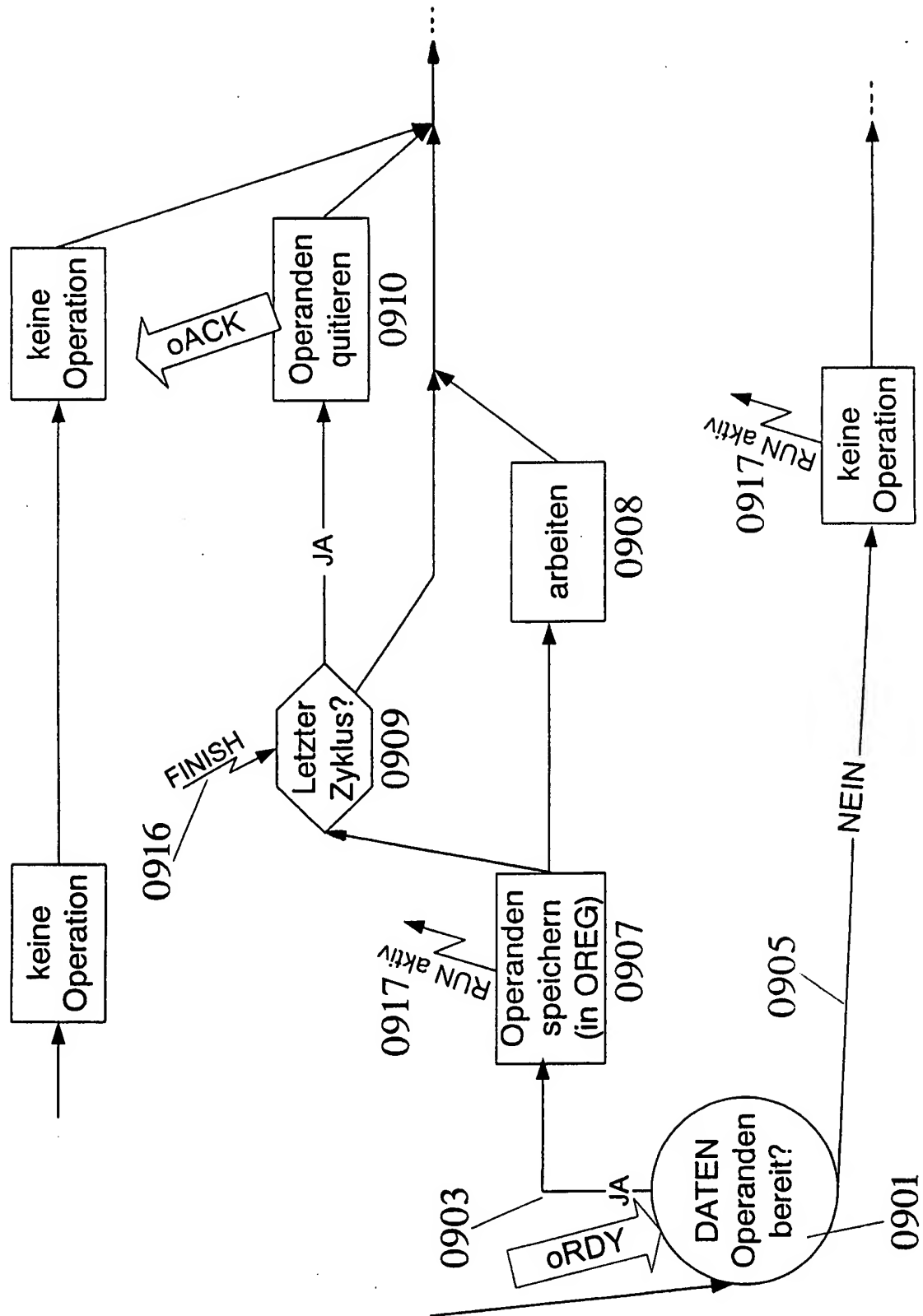


Fig. 9/1



*Fig. 9/2*

# SM-UNIT

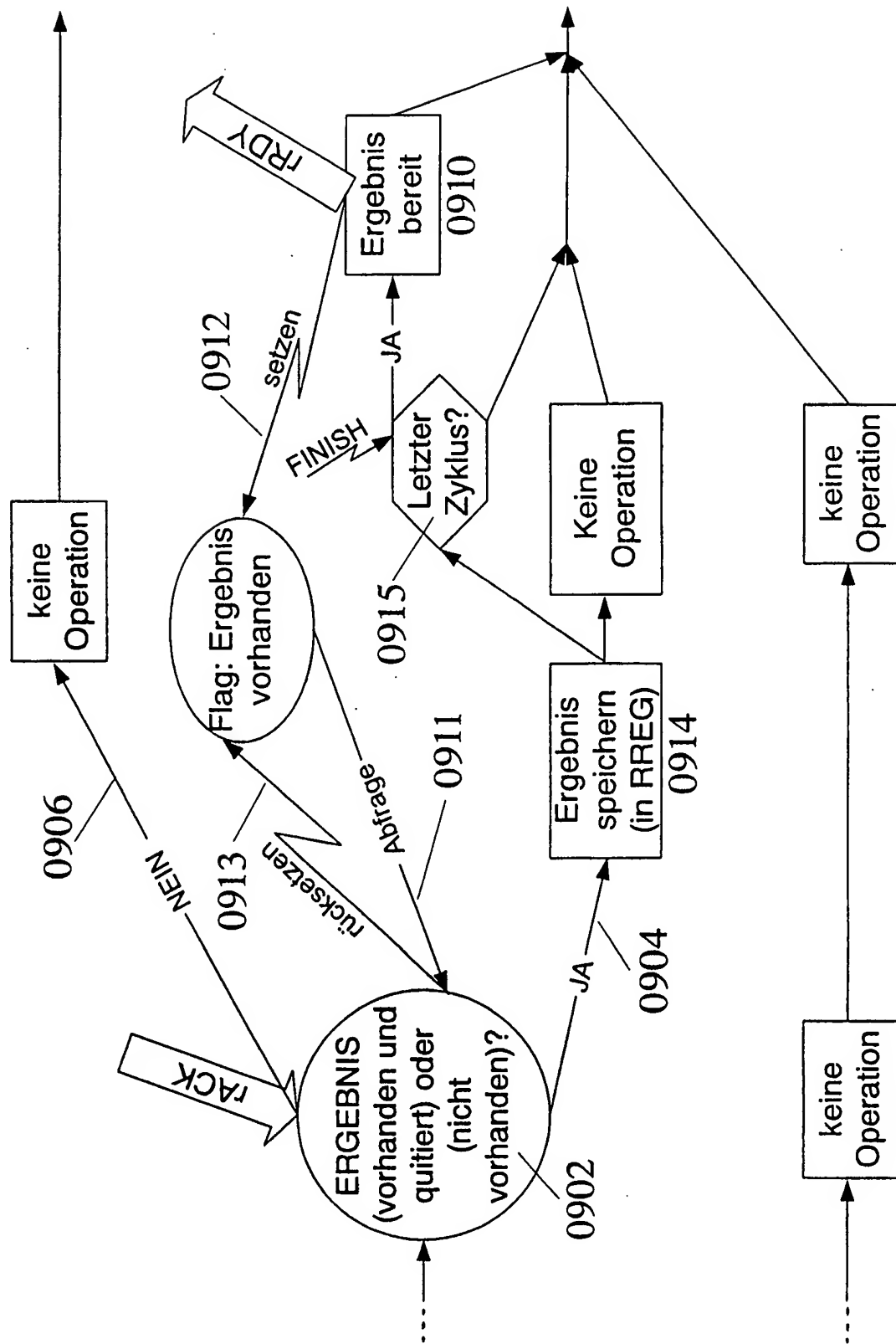


Fig. 10

Power-UNIT

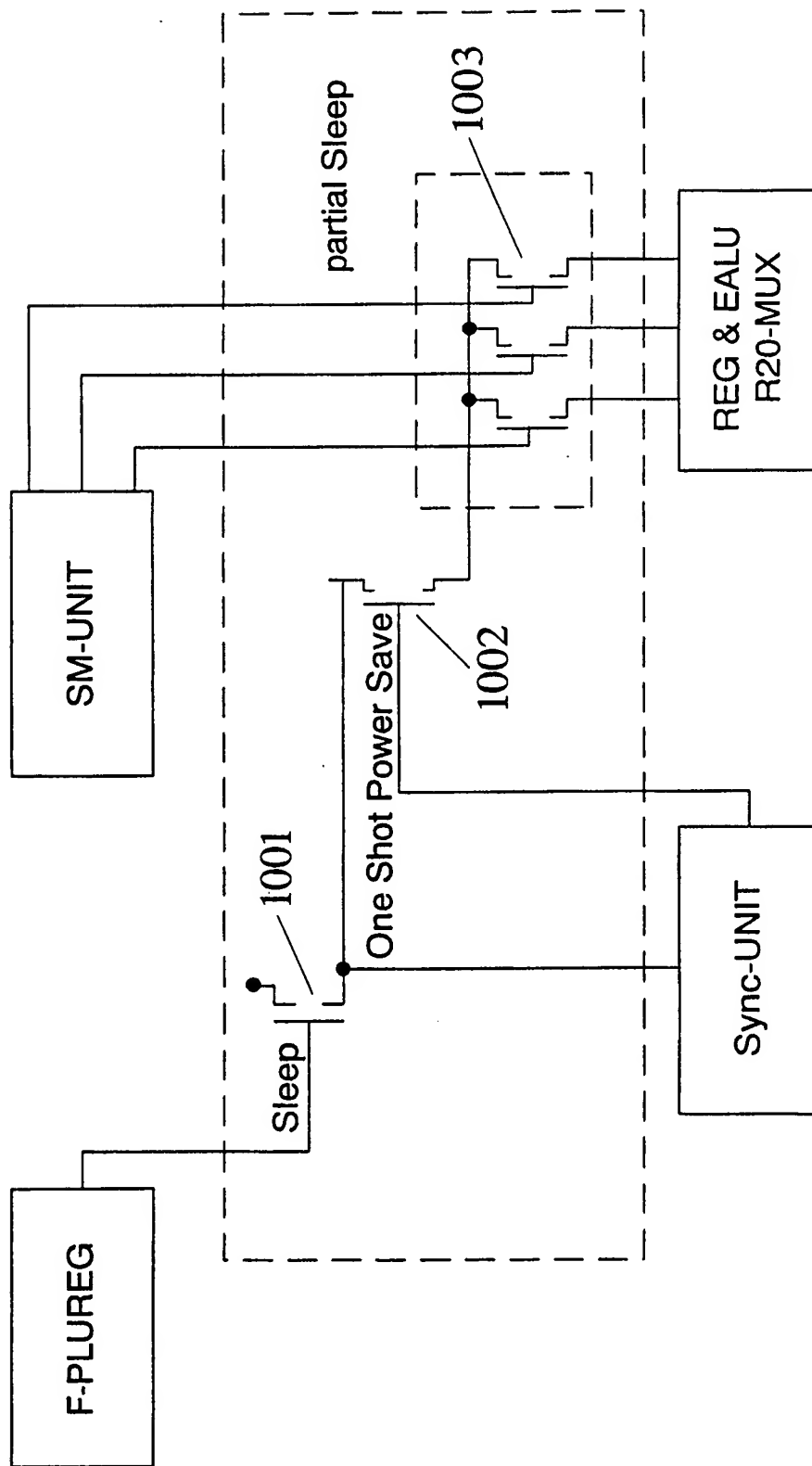


Fig. 11

## Sync-UNIT mit StateMachine2

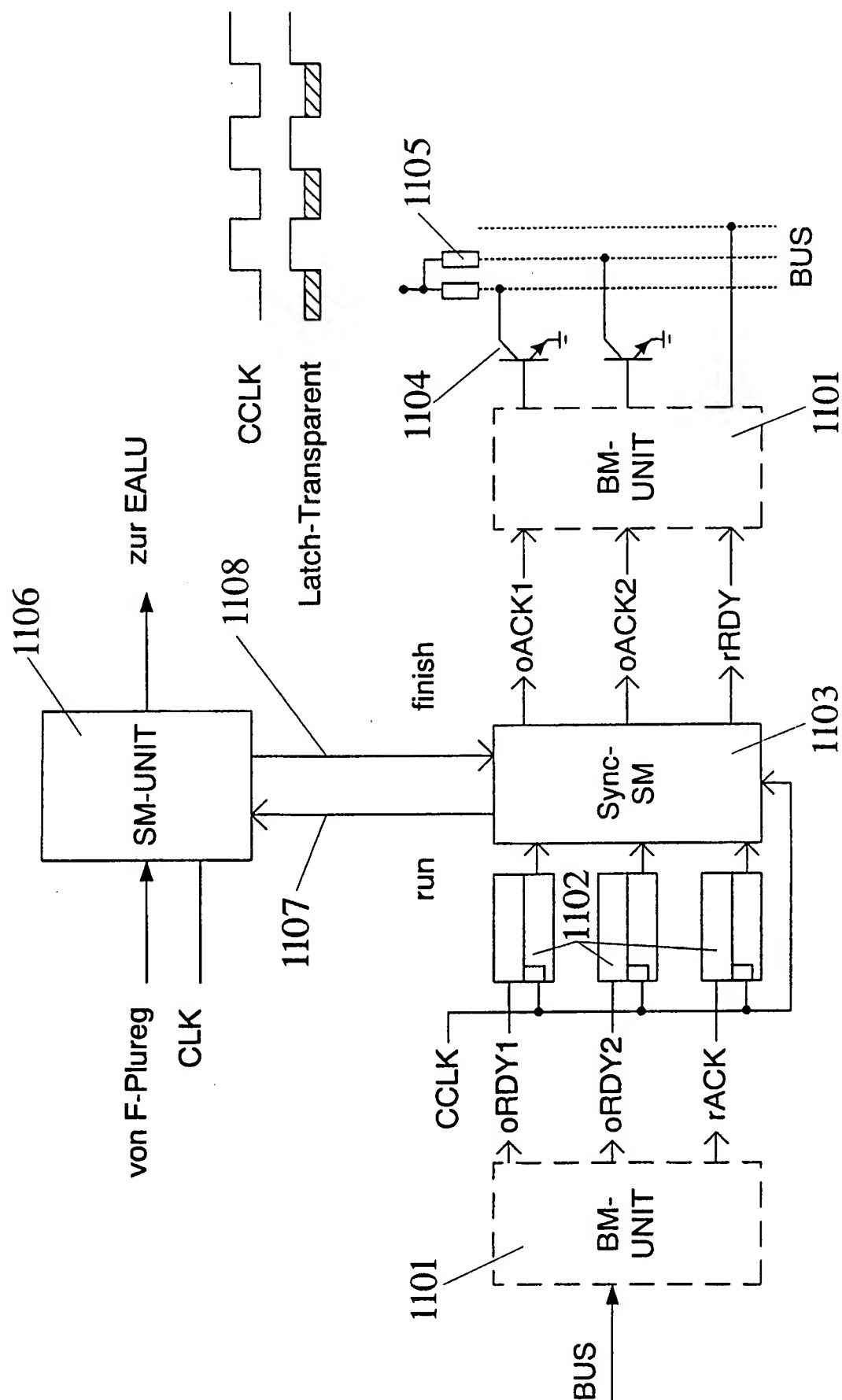
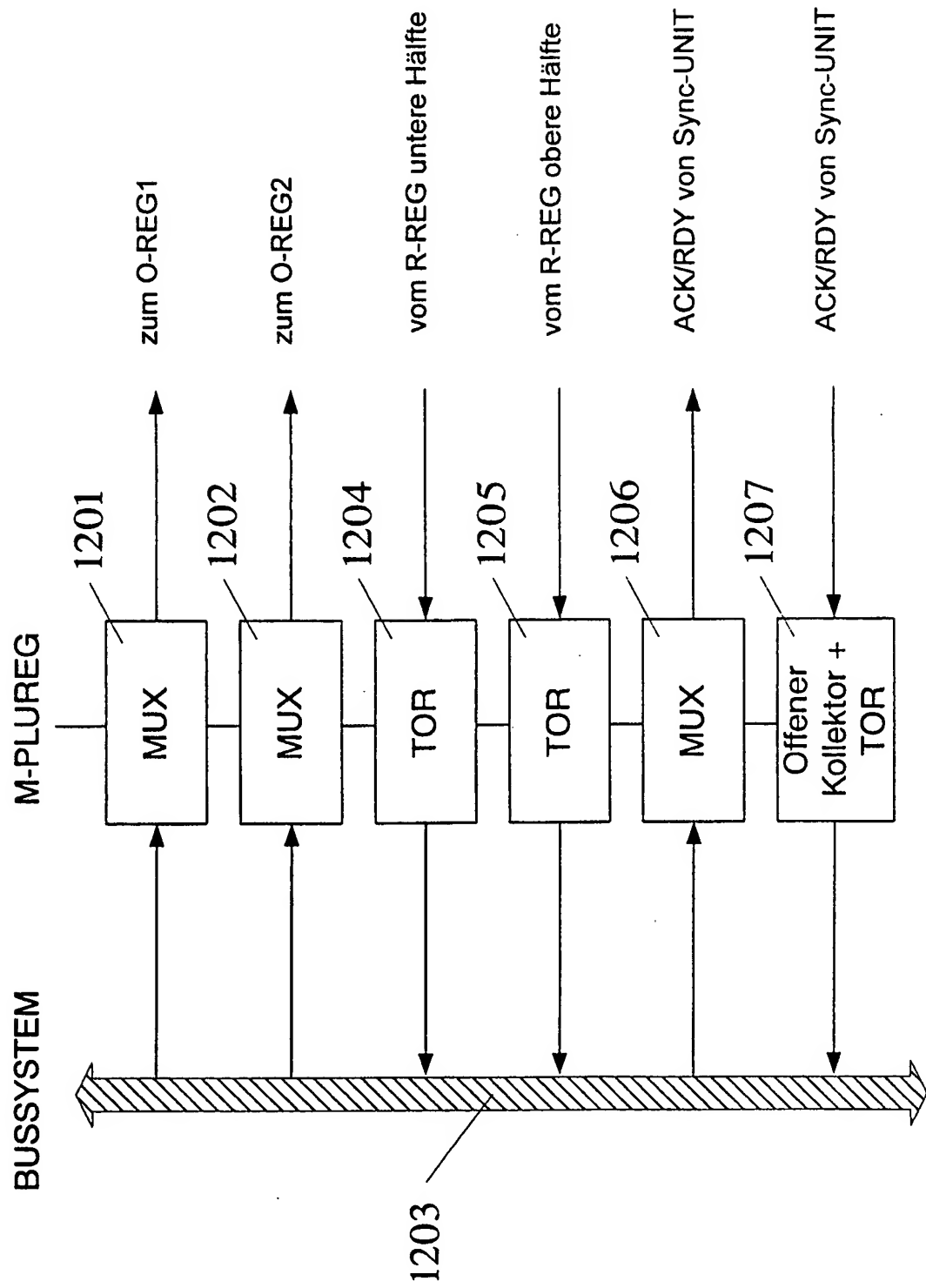
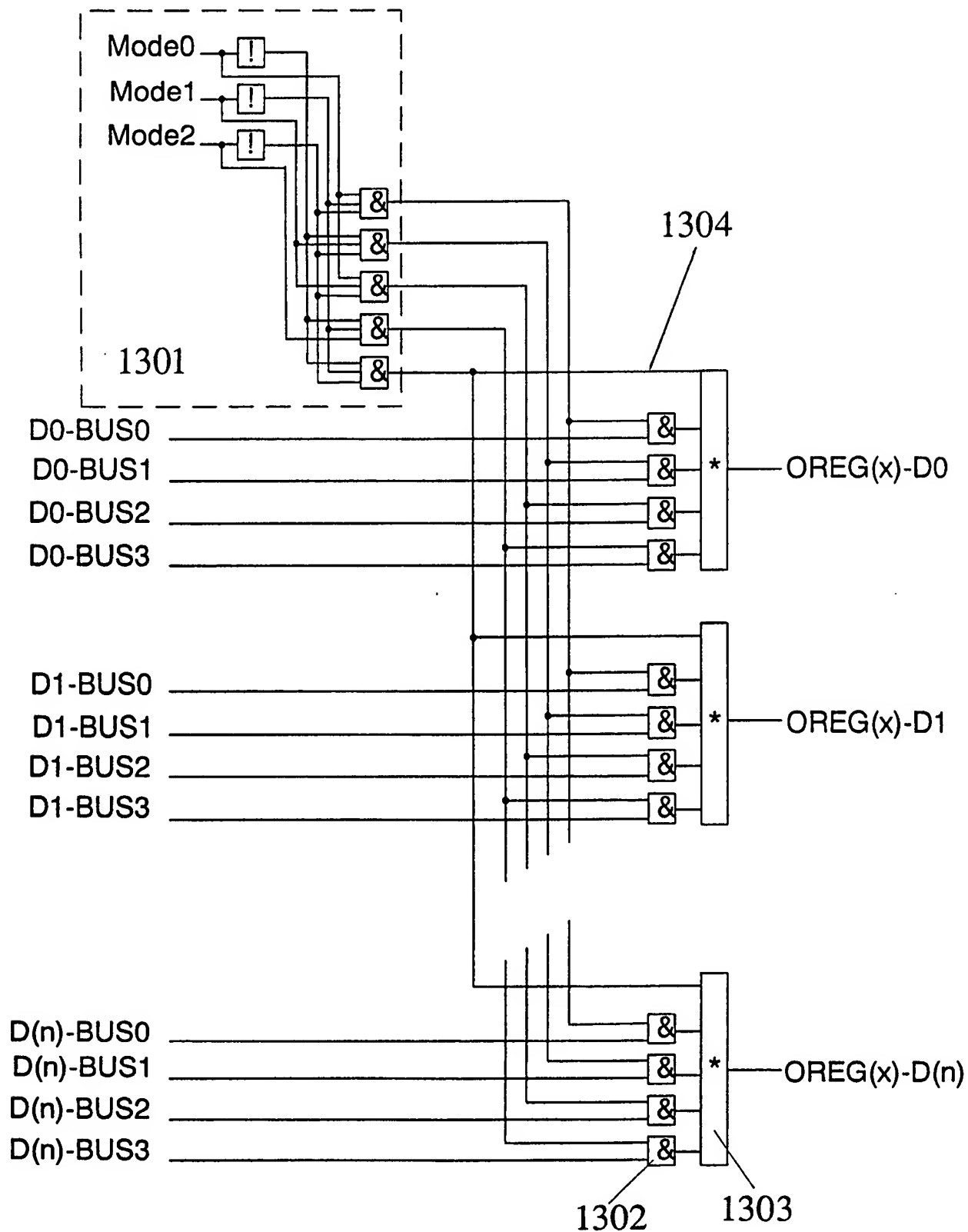


Fig. 12

## BM-UNIT





*Fig. 13* O-MUX

*Fig. 14*

## R-GATE

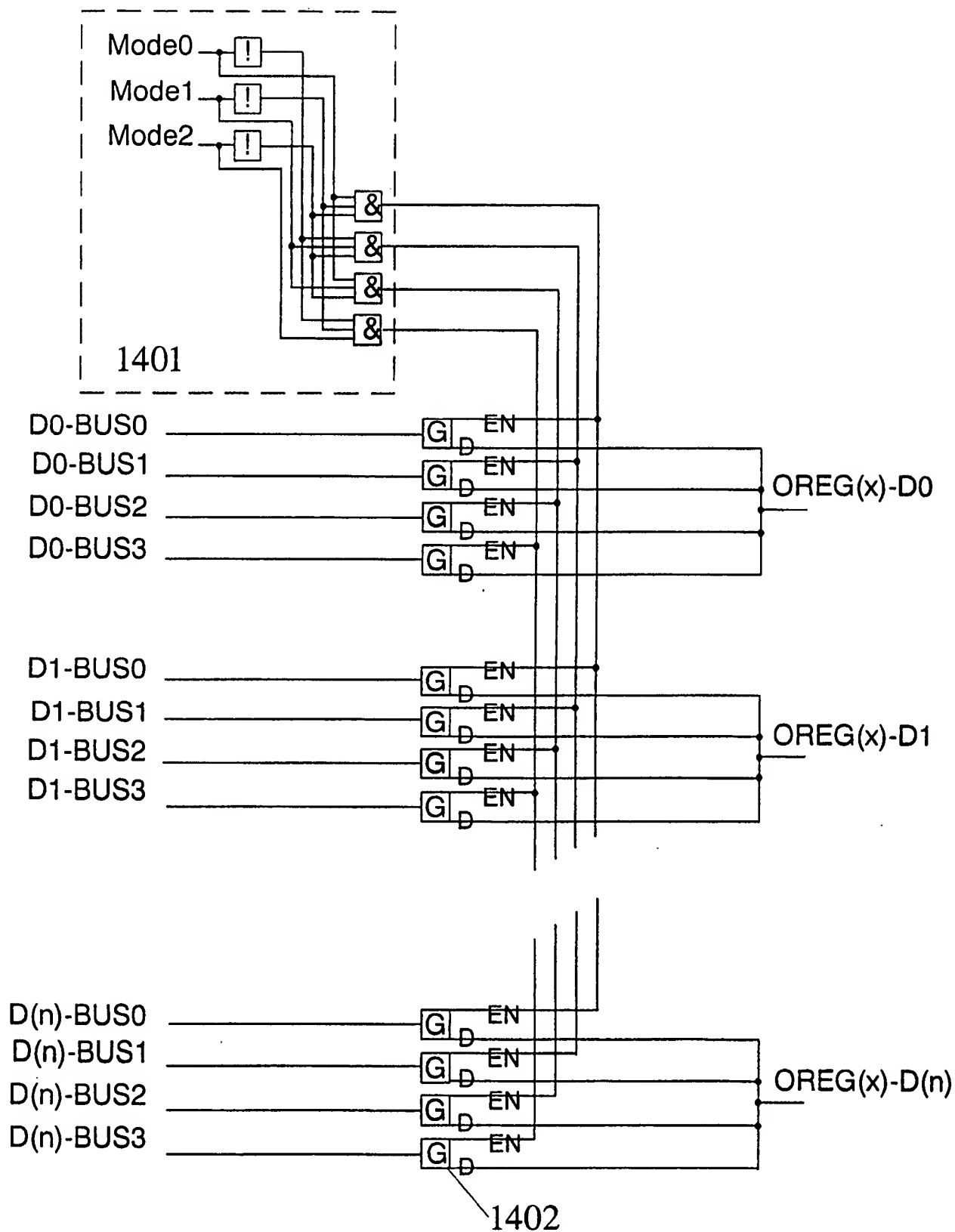


Fig. 15  
StateBack-UNIT

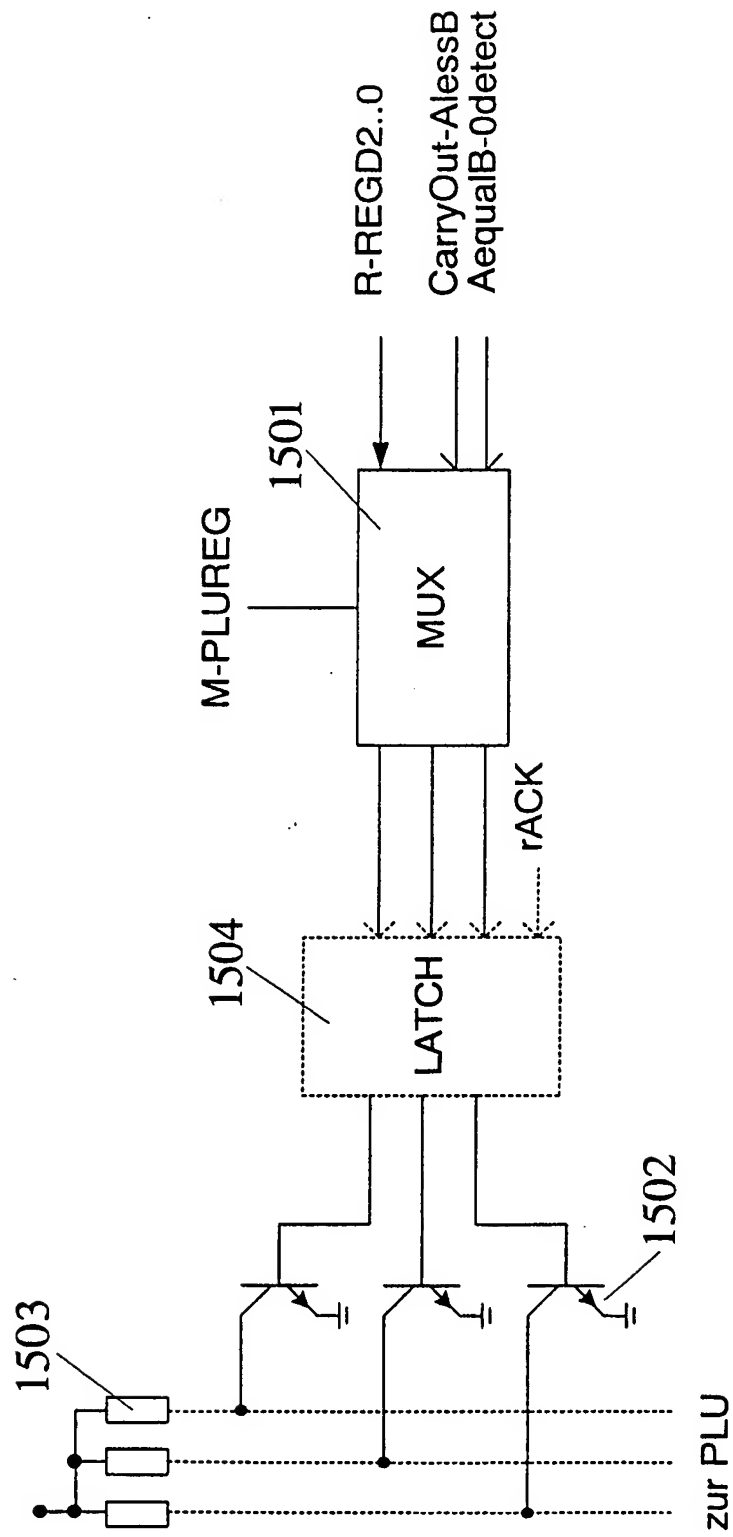


Fig. 16

OneShot-Mode

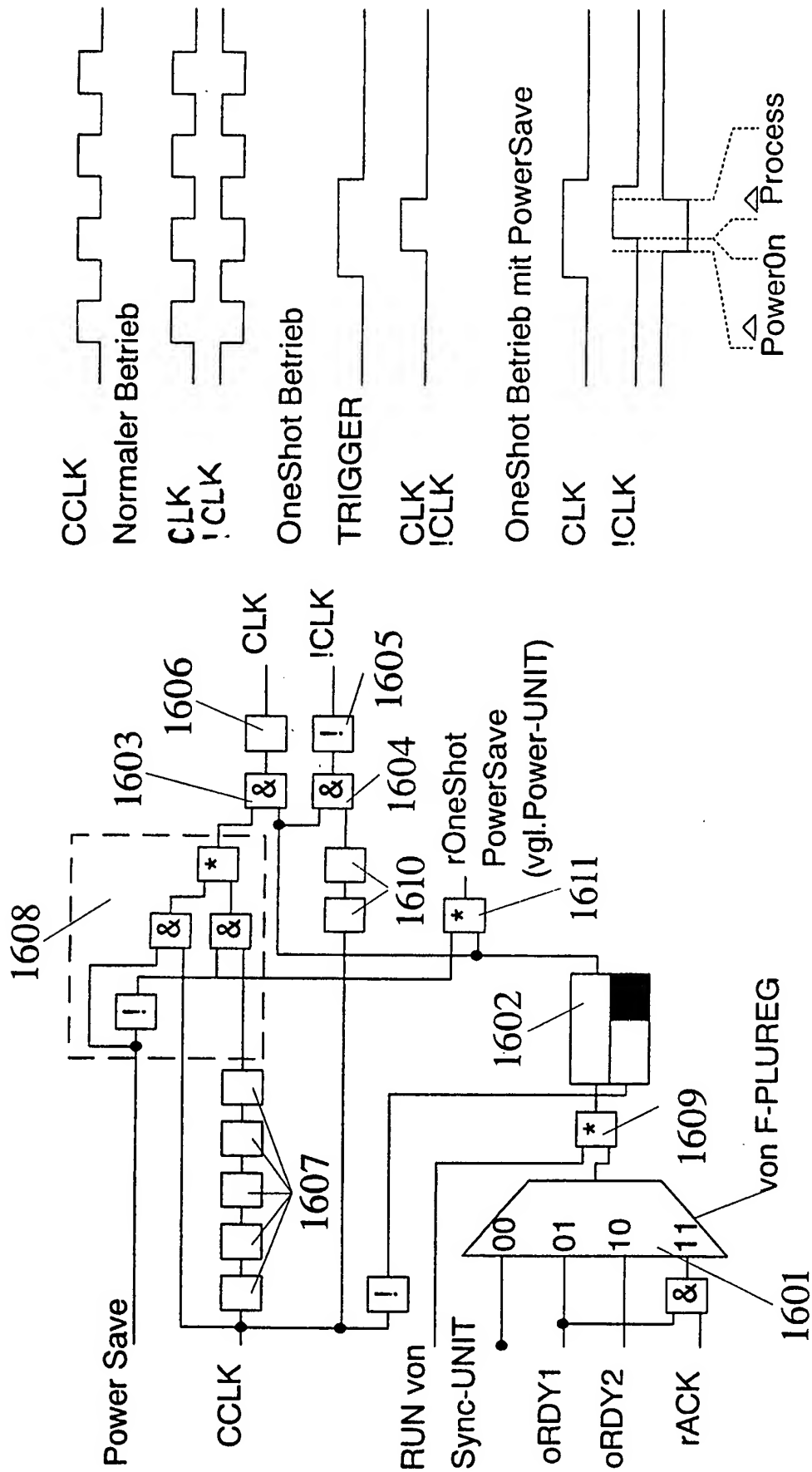


Fig. 17

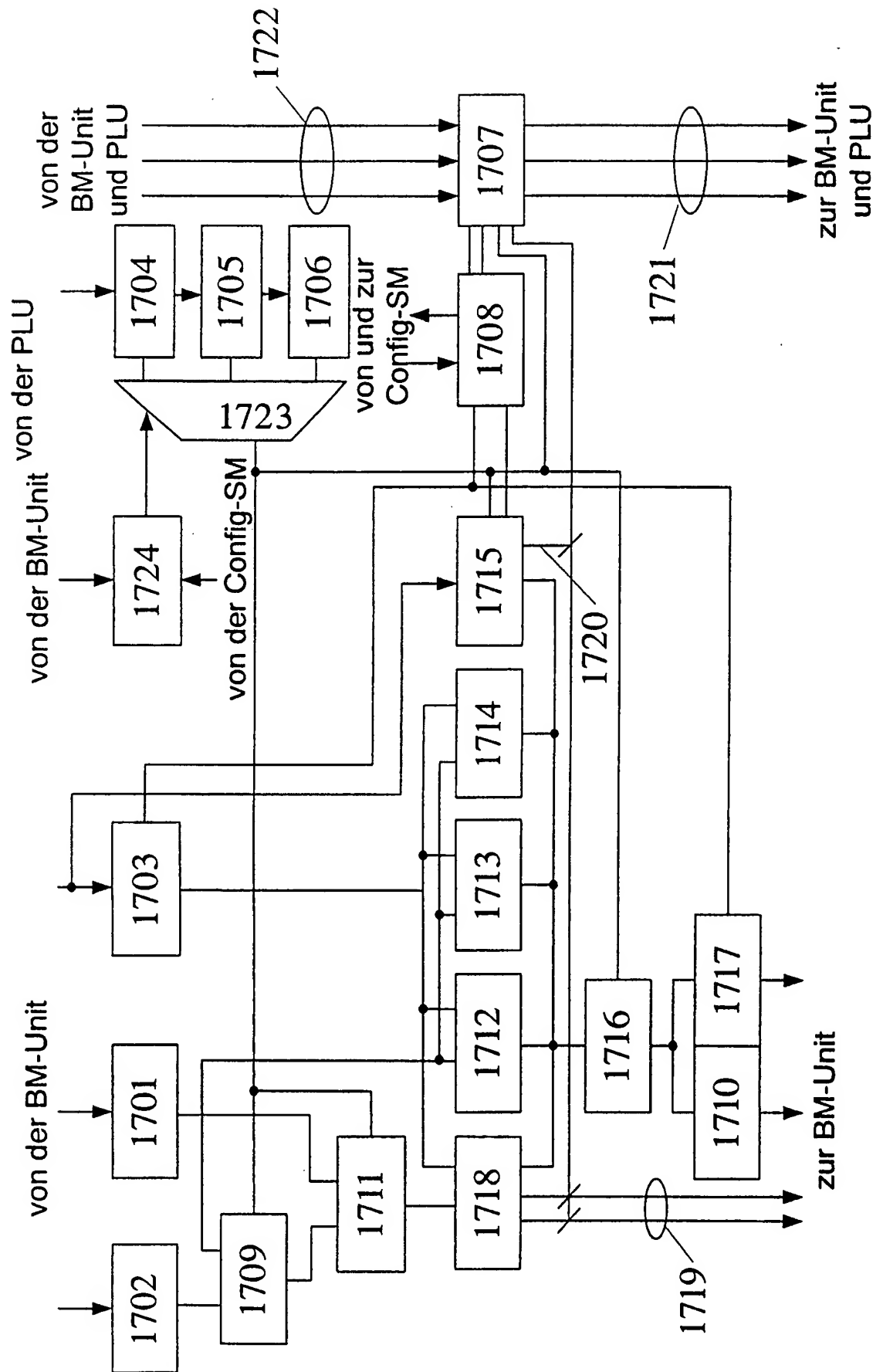
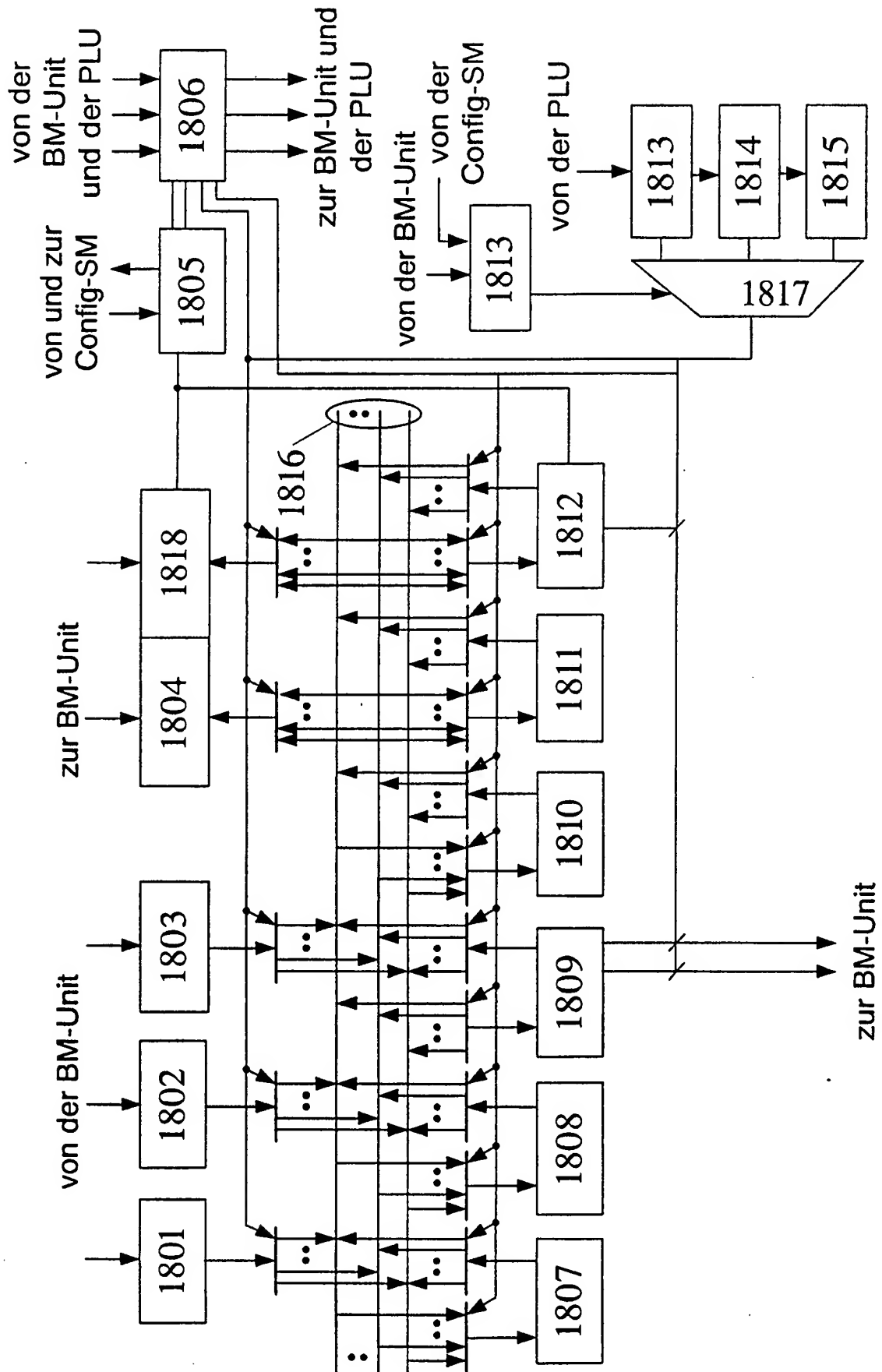
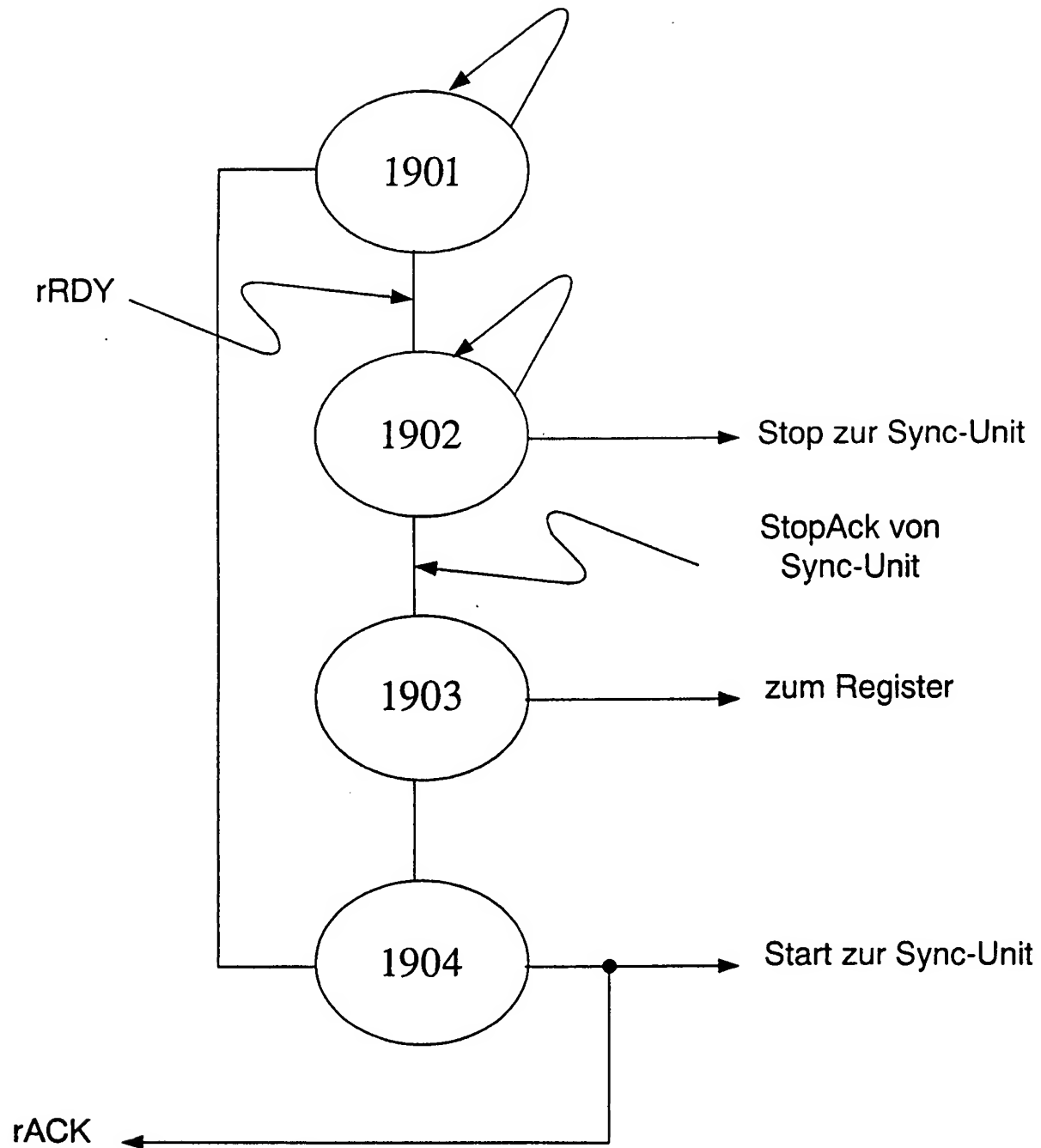


Fig. 18



*Fig. 19*

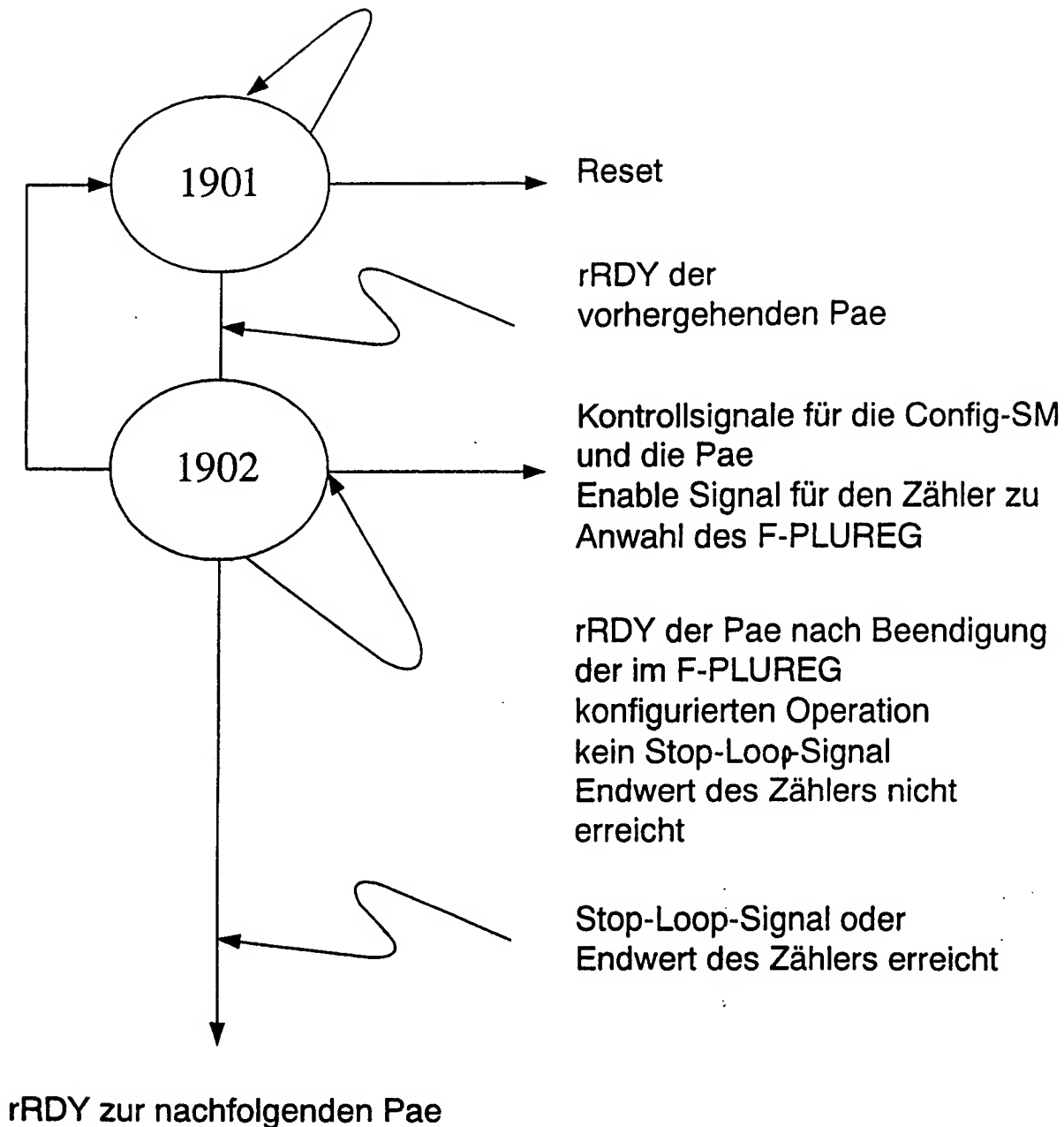
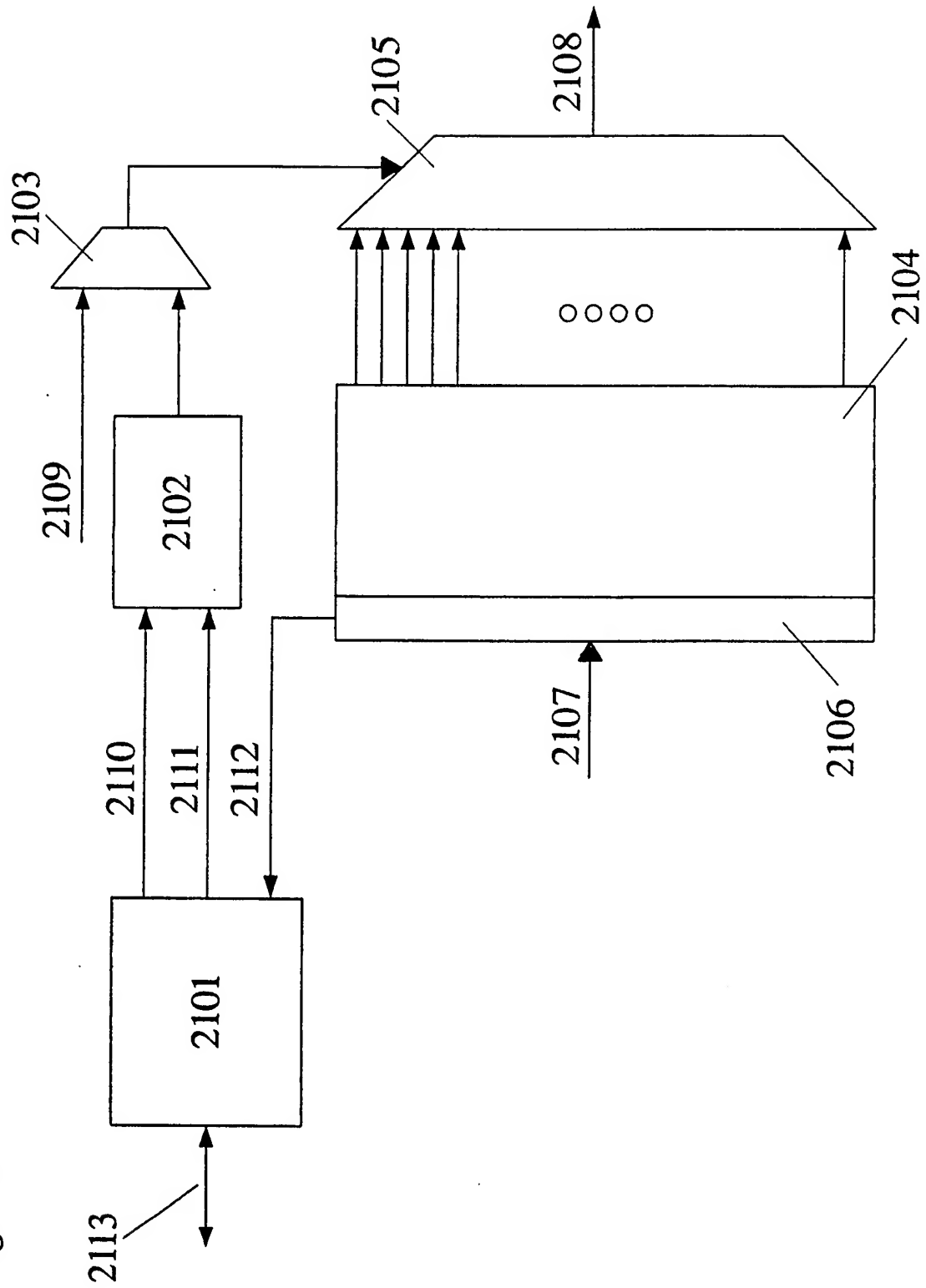
*Fig. 20*



Fig. 21



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02949

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G06F15/78 H03K19/177

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G06F H03K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 336 950 A (POPLI SANJAY ET AL) 9 August 1994 see the whole document ---	1,2
A	US 5 430 687 A (HUNG LAWRENCE C ET AL) 4 July 1995 see column 6, line 58 - line 60; figures 1,2 ---	1
A	EP 0 735 685 A (SGS THOMSON MICROELECTRONICS) 2 October 1996 see the whole document ---	3
-/--		



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 May 1998

Date of mailing of the international search report

26/05/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Michel, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02949

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>MAXFIELD C: "Logic that mutates while-u-wait"</p> <p>EDN (EUR. ED.) (USA), EDN (EUROPEAN EDITION), 7 NOV. 1996, CAHNERS PUBLISHING, USA,</p> <p>vol. 41, no. 23, ISSN 0012-7515, pages 137-140, 142, XP002064224</p> <p>see page 1384, right-hand column, line 3 - line 27</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 97/02949

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5336950 A	09-08-94	US 5338984 A	16-08-94
		US 5317209 A	31-05-94
		US 5329180 A	12-07-94
		US 5341040 A	23-08-94
		US 5319255 A	07-06-94
		US 5298805 A	29-03-94
		US 5323069 A	21-06-94
		US 5296759 A	22-03-94
<hr/>			
US 5430687 A	04-07-95	NONE	
<hr/>			
EP 0735685 A	02-10-96	US 5111079 A	05-05-92
		DE 69127241 D	18-09-97
		DE 69127241 T	26-02-98
		EP 0465002 A	08-01-92
		JP 4233825 A	21-08-92
<hr/>			

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte. onales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02949

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G06F15/78 H03K19/177

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 G06F H03K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>*</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 336 950 A (POPLI SANJAY ET AL) 9. August 1994 siehe das ganze Dokument ---	1,2
A	US 5 430 687 A (HUNG LAWRENCE C ET AL) 4. Juli 1995 siehe Spalte 6, Zeile 58 - Zeile 60; Abbildungen 1,2 ---	1
A	EP 0 735 685 A (SGS THOMSON MICROELECTRONICS) 2. Oktober 1996 siehe das ganze Dokument ---	3
-/-		



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

<sup>\*</sup> Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Mai 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

26/05/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Michel, T

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02949

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>MAXFIELD C: "Logic that mutates while-u-wait"</p> <p>EDN (EUR. ED.) (USA), EDN (EUROPEAN EDITION), 7 NOV. 1996, CAHNERS PUBLISHING, USA,</p> <p>Bd. 41, Nr. 23, ISSN 0012-7515, Seiten 137-140, 142, XP002064224</p> <p>siehe Seite 1384, rechte Spalte, Zeile 3 - Zeile 27</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02949

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5336950 A	09-08-94	US 5338984 A	16-08-94
		US 5317209 A	31-05-94
		US 5329180 A	12-07-94
		US 5341040 A	23-08-94
		US 5319255 A	07-06-94
		US 5298805 A	29-03-94
		US 5323069 A	21-06-94
		US 5296759 A	22-03-94
<hr/>			
US 5430687 A	04-07-95	KEINE	
<hr/>			
EP 0735685 A	02-10-96	US 5111079 A	05-05-92
		DE 69127241 D	18-09-97
		DE 69127241 T	26-02-98
		EP 0465002 A	08-01-92
		JP 4233825 A	21-08-92
<hr/>			